国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

中国战略性新兴产业研究与发展

R&D of China's Strategic New Industries

数控机床

NC Machine Tool

盛伯浩 主编

机械工业出版社
China Machine Press

盛伯浩 北京机床研究所副总工程师、教授级高工。出生于1934年，1955年毕业于浙江大学机械制造专业，1982—1984年作为访问学者赴德国。

在北京机床研究所从事机床基础理论和工程应用技术的研究，发展了机床性能和可靠性的测评技术。构建了机床结构动态设计体系，研发了数控机床误差综合动态补偿、柔性生产线和可重构制造系统等技术。先后获部级科技进步奖二等奖5项和三等奖5项。1992年获国务院颁发的政府特殊津贴。

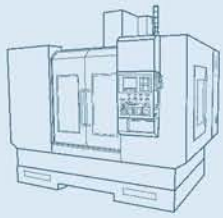
曾参与主编《机床设计手册》《机械工程手册：金属切削方法篇》、第二版机械工程手册的《机械制造工艺及设备（二）》等主要著作和手册7部。

中国战略性新兴产业研究与发展

R&D of China's Strategic New Industries

数控机床

NC Machine Tool



盛伯浩 主编

机械工业出版社
China Machine Press

本书从产业研究角度，对国际、国内数控机床产业发展现状、技术发展趋势、市场需求前景等进行详实分析、比较和深入研究，从战略高度为我国数控机床产业未来发展提供了现实性和可操作性的指导建议。全书包含4篇共9章内容：第一篇（第1～2章）着重阐明数控机床技术特征及其产业发展概况。第二篇（第3～4章）从技术水平、发展模式和发展环境三个方面对国内外数控机床产业进行系统比较，提出实现跨越发展的措施。第三篇（第5～7章）着重分析我国高端数控机床产业发展方向和需求，提出以高端数控机床与基础制造装备科技重大专项引领机床行业技术进步。第四篇（第8～9章）通过分析我国数控机床产业政策，提出数控机床发展的战略思考与建议，并从产业振兴、技术发展和产品服务三个方面列出发展路线图。

本书将普及性、科学性有机地统一起来，既具有一定的理论深度，又具有浅显易懂、实用的特点，既适合各级政府和行业决策机构制定政策法规、学术研究机构规划研究方向时参考，也适合企业决策者，技术、管理和市场人员及投资、证券行业和咨询机构的人员在规划、投资、研究、项目实施中使用。

图书在版编目（CIP）数据

中国战略性新兴产业研究与发展．数控机床 / 盛伯浩主编．—北京：机械工业出版社，2013.7
ISBN 978-7-111-43210-4

Ⅰ．①中… Ⅱ．①盛… Ⅲ．①新兴产业—产业发展—研究—中国②数控机床—机械工业—产业发展—研究—中国
Ⅳ．①F121.3②F426.4

中国版本图书馆CIP数据核字（2013）第150253号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号　邮政编码 100037）
责任编辑：袁士华　武　晋　　编辑：李　超　章承林
责任校对：贾立萍　陈延翔　刘雅娜
北京宝昌彩色印刷有限公司印制
2013年6月第1版第1次印刷
170mm×242mm · 33.5印张 · 582千字
标准书号：ISBN 978-7-111-43210-4
定价：178.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务	网络服务
社服务中心：(010)88361066	易览网：http://www.mepfair.com
销售一部：(010)68326294	机工官网：http://www.cmpbook.com
销售二部：(010)88379649	机工官博：http://weibo.com/cmp1952
读者购书热线：(010)68326643	**封面无防伪标均为盗版**

《中国战略性新兴产业研究与发展》

编委会

主　任　路甬祥　全国人大常委会副委员长、中国科学院院士

副主任　苏　波　工业和信息化部副部长

王文斌　中国机械工业联合会副会长、机械工业信息研究院院长、机械工业出版社社长

委　员　（按姓氏笔画排序）

王仲颖　国家发展和改革委员会能源研究所副所长

石　勇　机械工业信息研究院战略与规划研究所所长

付于武　中国汽车工程学会理事长

刘忠明　郑州机械研究所副总工程师兼研发中心主任

祁　俊　中国工程机械工业协会会长

李树君　中国农业机械化科学研究院院长

李俊峰　国家应对气候变化战略研究和国际合作中心主任

肖立业　中国科学院电工研究所所长

吴　筠　中国机械通用零部件工业协会原理事长

何加群　中国轴承工业协会专务委员

汪　鸣　国家发展和改革委员会综合运输研究所副所长

宋天虎　中国机械工程学会常务副理事长

张进华　中国汽车工程学会常务副理事长兼秘书长

张志英　中国液压气动密封件工业协会原理事长

陆　力　中国水利水电科学研究院水力机电研究所所长

茅仲文　中国工程机械工业协会副秘书长

徐和谊　北京汽车集团有限公司董事长

徐洪泉　中国水利水电科学研究院水力机电研究所总工程师

郭　锐　机械工业信息研究院副院长、机械工业出版社副社长

盛伯浩　北京机床研究所副总工程师

韩文科　国家发展和改革委员会能源研究所所长

景晓波　工业和信息化部运行监测协调局副巡视员

谢三明　工业和信息化部运行监测协调局监测预测处处长

《中国战略性新兴产业研究与发展·数控机床》

执行编委会

主　　任　梁训瑄

副 主 任　杨学桐　杨京彦

委　　员　王晓林　陈惠仁　曲　波　李东茹
赵钦志　苏　铮　盛伯浩

主　　编　盛伯浩

副 主 编　黄韶娟

撰 稿 人　盛伯浩　黄韶娟　赵宏林

《中国战略性新兴产业研究与发展》

编委会办公室

主　　任　郭　锐（兼）

副 主 任　李卫玲

成　　员　赵　敏　张珂玲　李　晶

序言

全球金融危机和经济衰退发生以来，美欧日俄等各国为应对危机、复苏经济、抢占未来发展的先机和制高点，都在重新审视发展战略，不断加快推进“再工业化”，培育发展以新能源、节能环保低碳、生物医药、新材料与高端制造、新一代信息网络、智能电网、海洋空天等技术为支撑的战略性新兴产业，在全球范围内构建以战略性新兴产业为主导的新产业体系。力图通过新一轮的技术革命引领，重新回归实体经济，创造新的经济增长点。这已成为很多国家摆脱危机、实现增长、提升综合国力的根本出路。可以预计，未来的二三十年将是世界大创新、大变革、大调整的历史时期，人类将进入一个以绿色、智能、可持续发展为特征的知识文明时代。那些更多掌握绿色、智能技术，主导战略性新兴产业发展方向的国家和民族将在未来全球竞争合作中占据主导地位，赢得全球竞争合作，共享持续繁荣进程中的主动权和优势地位。

为应对金融危机和全球性经济衰退以及日趋强化的能源、资源和生态环境约束，以实现中国经济社会的科学发展、和谐发展、持续发展，党中央、国务院提出加快调整产业结构、转变经济发展方式，加快培育和促进战略性新兴产业发展的方针，出台了《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》以及相关政策举措。可以肯定，未来 5 ～ 10 年将是我国结构调整与改革创新发展的一个新的战略机遇期，将通过继续深化改革，扩大开放，提升自主创新能力，建设创新型国家，实现我国科技、产业、经济由大变强的历史性跨越，我国经济社会发展将走出一条依靠创新驱动，绿色智能，科学发展、和谐发展、持续发展之路，实现中华民族的伟大复兴。

展望未来，高端装备制造、新能源汽车、节能环保、新一代信息技术、生物医药、新能源、新材料、绿色运载工具、海洋空天、公共安全等全球战略性新兴产业将形成十数万亿美元规模的宏大产业，成

为发展速度最快，采用高新技术最为密集，最具持续增长潜力的产业群落。战略性新兴产业的发展需求也将拉动技术的创新突破和产业的结构调整，为包括我国在内的全球经济发展注入新的强大动力。

在世界各国高度重视培育和发展战略性新兴产业的新形势下，编著一套《中国战略性新兴产业研究与发展》图书，借鉴国外相关产业发展的成功经验，对行业发展思路、发展目标、发展战略、发展重点、投资方向、政策建议等方面进行全面、系统研究，凝聚对战略性新兴产业内涵和发展重点的认识，为国家战略性新兴产业发展规划的顺利实施，以及政府和有关部门制定促进战略性新兴产业发展的相关政策和法规提供参考，具有十分重要的现实意义。

《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书一期包括 12 个分册，对相应产业的阐述、分析均注重强调战略性新兴产业的六个主要特点：

一是**绿色**。战略性新兴产业属于能耗低、排放少、零部件可再生循环的“环保型”“绿色型”产业，无论从产品的设计、制造、使用，还是回收、再利用等整个生命周期的各个环节，对资源的利用效率与对环境的承载压力均要求达到最理想水平。

二是**智能**。新型工业化要求坚持以信息化带动工业化、以工业化促进信息化，即要实现“两化融合”。而“两化融合”决定了智能是未来产业尤其是战略性新兴产业的发展方向。所谓智能，是指制造过程的智能化、产品本身的智能化、服务方式的智能化。这些均是智能的最基本层次，它还具有其他更为丰富的内涵。如：智能电网，通过先进的传感和测量技术、先进的设备技术、先进的控制方法以及先进的决策支持系统技术的应用，可实现电网的可靠、安全、经济、高效、环境友好和系统安全等方面的智能；智能汽车不只是安全智能，还包括节能、减排、故障预警等方面的智能。

三是**全球制造**。随着全球化趋势不断深化，战略性新兴产业的发展成果也必将是由全人类共创共享。新产品的研制开发，不再由一个企业独自完成，需要集成各方面优势资源共同解决。例如 iPhone 在中国完成装配，但它的设计、研发以及许多零部件的供应都是在美国、

日本、欧洲等国实现的，其本身就是一个全球化的产品。因而，未来的制造必然是全球化制造、网络化制造。

四是**满足个性化需求与为更多人分享相结合**。目前中国有 13 亿人口，印度有 12 亿人口，还有巴西、印度尼西亚等新兴国家、发展中国家也都要实现现代化。在全球如此规模庞大的人群中，既存在富裕阶层、高消费阶层，他们的消费需求是个性化、多样化的；又有占比较大的中产阶层、贫困人口，他们的消费需求是基本层次的，但也不能被忽视。两种类型的消费需求必须同时被满足，这不仅是构建和谐社会的需要，而且是构建和谐世界的需要。因此，我国发展战略性新兴产业，应该既要满足中高端个性化的需求，同时又要满足我国与其他发展中国家广大普通消费者的需求。要把个性化的设计、个性化的产品生产，与规模化、工业化的传统生产结合起来，不能完全抛弃传统的规模化生产方式。

五是**可持续**。要使有限的自然资源得以有效、可持续利用，发展利用可再生资源、能源，强调发展再制造、循环经济。无论是原材料使用，还是零部件制造，从研发、设计之初就考虑到了生产中的废料、使用后的遗骸的回收处置，使其能够重新得到循环利用。

六是**增值服务**。培育发展战略性新兴产业需要注意在设计制造过程中与产品售后、使用过程中提供相关增值服务。不应再局限于传统的观念，只注重制造本身，而不注重服务的价值。例如，发展电动汽车产业，必须首先解决好商业模式问题，包括充电桩建设、电池更换、废旧电池回收等服务方面，否则将无法广泛推广。

《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书内容丰富，资料翔实，观点鲜明，立意高远，并力求充分体现出“四性”，即科学性、前瞻性、指导性和基础性。

第一，体现**科学性**。所谓科学性，就是指以科学发展观为指导。科学发展观的核心是以人为本，总体目标是全面、协调、可持续，基本方法是统筹兼顾，符合客观规律。《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书既要能够为党中央、国务院提出的加快发展战略性新兴

产业的总体战略服务，又不应受到行业、部门的局限，更不能写成规划或某些部门规划的解读材料，而应能够立足于事物客观规律、立足于全局。各分册编写组同志重视调查、研究，力求对国情、科技、产业及全球相关产业的发展态势有比较准确的把握，努力为我国战略性新兴产业的发展提供一本基于科学基础的好素材。这套图书立足基于我国国情，而不是简单地把发达国家的相关产业信息进行综合、编译，照搬照抄。当然，我国发展战略性新兴产业不能“闭门造车”，而是要坚持开放性，积极参与国际分工合作，充分利用全球优势资源，提高发展的起点和水平。因而，有必要参照国际成功经验与最新发展趋势，但一定要以我国国情和产业特点为根本出发点，加快培育和发展有中国特色的、竞争能力强的战略性新兴产业。

第二，体现**前瞻性**。一是能够前瞻战略性新兴产业的发展，因为这套图书是战略性新兴产业的发展指导书。二是能够前瞻战略性新兴产业技术的发展。为了做好这两个前瞻，必须要适当地前瞻全球经济、我国经济与战略性新兴产业发展的趋势。只讲发展现状是不够的，因为关于现状的资料很多，通过简单地网络搜索即可查到；也不能只罗列国外的某些规划和发展战略。《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书的编写注重有深度的科学分析与前瞻性的研究。

第三，体现**指导性**。《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书本身就是指导书，能够对产业、对技术、对国家制定政策，甚至在未来国家发展战略与规划的制定等方面发挥一定的引导作用与影响。虽然不能说这套图书可以指导国家战略与规划的制定，但是应该努力发挥其积极的引导作用。

第四，体现**基础性**。所谓基础性，就是指要能够提供战略性新兴产业的基础信息、基础知识，以及我国和有关国家在相关产业发展方面的基本战略，主要的法规、政策和举措，并尽可能提供一些基本的技术路线图。比如在轴承分册，就描述了一个轴承产业发展的路线图。唯有如此，《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书才能满足原来立项的宗旨——不仅要为工程技术界、大学教师、大学生与研究生提

供学习参考书，为产业界的技术人员、管理人员提供决策参照，而且要为政府部门的政策法规制定者提供参考。

机械工业出版社是具有60年历史的专业性综合型出版机构，改革开放后，随着市场经济的发展，机械工业出版社不断改革转型，不但形成了完善的编辑出版工作流程和质量保证体系，而且编辑人员作风严谨，工作创新。

《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书不仅是一套科技普及书，更是一套产业发展参考书，必须既要介绍国内外战略性新兴产业的发展情况，又要阐述相关政策、法规、扶植措施等内容。因此，这套图书的组编单位、编写负责人和编写工作人员必须要有相关积累和优势。《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书所选的分册主编和作者主要是精力充沛的业内中青年专家，并由资深专家负责相应的编审、校审工作。现在看来大多数工作由中青年同志担当，是完全符合实际的。此外，这套图书的编著还充分发挥了有关科研院所、行业学会和协会的作用，他们的优势在于对行业比较熟悉，并掌握了较为丰富的资料。

最后，特别感谢国家出版基金对《中国战略性新兴产业研究与发展》系列图书的大力支持！感谢全体编写出版人员的辛勤劳动！

期望《中国战略性新兴产业研究与发展》为社会各界了解战略性新兴产业提供帮助，期待中国战略性新兴产业培育和发展尽快取得重大突破，祝愿我国在不久的将来实现由经济大国向经济强国的历史性跨越！

是为序。

路甬祥

2012年2月6日于北京

前言

数控机床是集机械、电气、液压、气动、微电子和信息等多项技术为一体并与智能计算机协同集成的机电一体化产品，是机械制造设备中具有高精度、高效率、高自动化和高柔性化等优点并能用以制造各种机器产品零件的工具机。数控机床的技术水平高低及其在金属切削加工机床产量和总拥有量的百分比是衡量一个国家国民经济发展和工业制造整体水平的重要标志之一。

数控机床综合了当今世界上许多领域最新的技术成果，主要包括精密机械、计算机及信息处理、自动控制及伺服驱动、精密检测及传感和网络通信等技术。数控机床产业是我国基础性、战略性产业之一，关系到国家战略地位，体现国家综合国力和工业化水平。我国政府已充分意识到发展数控技术的重要性，正积极采取各种有效措施大力发展中国的数控机床产业，把发展数控机床作为振兴机械工业的一大重点。

进入21世纪，我国机床制造业既面临着提升机械制造业水平的需求而引发的发展的良机，也遭遇到加入WTO后激烈的市场竞争的压力。从技术层面上来讲，加速推进数控技术的发展将是解决机床制造业持续发展的一个关键。

数控机床及由数控机床组成的制造系统是改造传统产业、构建数字化企业的重要基础装备，它的发展一直备受人们关注。数控机床以其卓越的柔性、自动化的性能、优异而稳定的精度、灵捷而多样化的功能引起世人瞩目，它开创了机械产品向机电一体化发展的先河。因此，数控技术是先进制造技术中的一项核心技术。另一方面，持续的信息技术研究的深化应用，促进了数控机床技术水平的进一步提升。

“八五”和“九五”期间，我国机床制造行业把提高数控机床可靠性列入国家重点科技攻关项目。通过对数控车床、数控铣床和加工

中心可靠性的测评和分析，企业采取相应的改进措施，使产品平均无故障时间（MTBF）由400h提高到600h。“十五”期间，科技部在国家科技攻关计划和国家高技术发展计划中，都分别安排了面向数控技术及其装备发展的科技项目，研制开发出一批国家重点工程建设急需的重大数控装备，并积极支持有关中档数控机床产业化支撑技术的研究，使我国中档数控机床成为数控机床产值中的主力军，彻底改变了由低档经济型数控机床作主导的局面。

作为先进工具机的数控机床，它的发展目标就是要为各个机械制造产业提供具有更优异的加工精度、更高的生产效率、更稳定的可靠性、更持久的精度寿命和更节能环保制造过程等性能的高端数控机床。

针对我国在高端数控机床方面较多依靠进口的现状，国务院于“十二五”发布《关于加快振兴装备制造业的若干意见》，将发展“高档数控机床与基础制造装备”列为国家16个重大科技专项之一，在工业和信息化部具体领导下，对高端数控机床主机、数控系统和功能部件的关键技术和共性技术组织产学研用合作研究，为发展我国高端数控机床产业构建良好的技术平台。

因此，作为战略性新兴产业之一的以数控机床为代表的高端装备制造业，特别是其中高端数控机床产业的发展，不仅能整体提升我国数控机床产业的市场竞争力，而且将能更紧密切入国内其他战略性新兴产业的需求，为当前产业结构调整和深化技术改造提供适用的数控机床。

本书是编委会受机械工业出版社承担的国家出版基金项目的委托，在北京机床研究所的大力支持下，根据国家重大科技专项“高档数控机床与基础制造装备”总体组与项目组、中国机床工具工业协会和中国机械工业联合会提供的相关资料并参考本书后所附文献目录中有关内容编写而成的。

《中国战略性新兴产业研究与发展·数控机床》一书共4篇9章。第一篇着重阐明数控机床作为制造装备中最先从机械自动化发展成机

电一体化产品的技术特征和结构组成，简要回顾美国、德国、日本与我国在数控机床产业发展中发挥的作用，并概要地分析其在发展历程中各个阶段用以表征其高端水平的先进技术内涵。而机电一体化产品的本质表征着其技术的跨越式发展，因此数控机床必然具有沿着机床结构性能和智能化两个方面并行发展的特点。第二篇从技术水平、发展模式和发展环境三个方面对国内外数控机床产业进行系统的比较，剖析我国虽在机床的产量、产值和消费金额上已位于世界第一，但要进入具有国际市场竞争力的机床强国，尚有明显的差距；综合分析以提高创新能力、加强基础研究、推动工程化产业化发展、加强国际化经营力度等，来促进数控机床产业的持续创新发展，实现跨越发展，从而进入机床强国之列的目标。第三篇则着重分析我国高端数控机床产业发展方向和需求，首先探讨了高端数控机床及核心功能部件的关键技术，以及对其自主研发的必要性和可能性；根据对我国战略性新兴产业的需求，分析研发适用于汽车、航空航天、轨道交通、船舶、电力设备和机床等行业所需的高端数控机床产品类型和品种的基本构架。第四篇分析了我国数控机床产业政策，包括国家重大科技专项“高档数控基础和基础制造装备”、科技支撑计划和机床工具行业“十二五发展规划”等所制定的技术政策、发展目标、技术路线和实施方案，对数控机床产业的振兴具有很重要的指导意义。基于此，结合实施过程所取得的经验，进一步归纳得出数控机床发展的战略思考与建议，并从产业振兴、技术创新和产品服务三个方面分别列出其发展路线图。

书中附录列出“十五”以来有关数控机床技术与产业发展的政策和规划，以及中国工程院提出的行动计划，把数控技术应用到更多其他制造装备上，用以提升其自动化与智能化水平，实现其性能向更高效、优质发展，具有很好的启迪作用。

在我国制造业发展的强劲需求拉动下，通过机床制造企业的努力和一系列相关科技和产业政策支持下，我国数控机床产业自 1999 年起，以平均年增长 30% 以上的速度进入快速增长期。当前，为了克服

由于全球金融危机所引发的国际制造业市场疲软的后果，国务院提出加快调整产业结构、转变经济发展方式、加快培育和发展战略性新兴产业的方针。为此，数控机床产业发展的主导模式，将从注重产量和价格优势，向构建产品创新和品质方向发展。根据数控机床的特点，创新将基于新加工工艺方法的研究、机床结构性能试验和关键件的高超制造技艺，而优良的品质将得益于精益制造的实施和可靠性及精度保持性的测评与控制。

此书涉及面广，限于撰稿人水平，本难当此重任，幸得到本文中已提及的各单位的支持。有关引用材料的出处，已列入书后的参考文献内，但有少量引用材料源自非公开发表的研究、分析报告，未能列入参考文献，一并致以谢意！

2013 年 6 月 6 日

编写说明

《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》确定了我国未来经济社会发展的战略重点和方向是战略性新兴产业，并且根据我国国情和科技、产业基础，又制定出现阶段重点发展节能环保、新一代信息技术、生物、高端装备制造、新能源、新材料、新能源汽车七大新兴产业。可见，未来5～10年七大战略性新兴产业将是国家重点支持、大力推广的产业。

为了使大家全面理解、准确把握、深刻领会国家这一战略决定的精神实质，了解其发展内涵，推动产业结构升级和经济发展方式转变，增强国际竞争优势，抢占新一轮经济和科技制高点，机械工业出版社在国家出版基金的支持下，组织各领域权威专家编写了一套《中国战略性新兴产业研究与发展》（以下简称《研究与发展》）图书。

《研究与发展》以国家相关发展政策和规划为基础，借鉴国外相关产业发展的成功经验，对产业发展思路、发展目标、发展战略、发展重点、投资方向、政策建议等方面进行了全面、系统的研究；对前瞻性、基础性和目前产业上有瓶颈限制的问题提出了有针对性的对策。

《研究与发展》采用分期分批的出版方式陆续出版发行，第一期出版的分册包括太阳能、风能、生物质能、智能电网、新能源汽车、轨道交通、工程机械、水电设备、农业机械、数控机床、轴承和齿轮。今后根据国家产业政策要求及各行业的发展情况还将陆续推出其他分册。

为了出版好《研究与发展》，机械工业出版社成立了《中国战略性新兴产业研究与发展》编委会，全国人大常委会路甬祥副委员长担任编委会主任。路甬祥副委员长对该套图书的编写高度重视，亲自参加编委研讨会，多次提出重要指导意见。他从图书的定位、内容选材、作者队伍建设和运作流程等方面都给予了全面和具体的指导，并提出

了“六个特点”和“四性”的具体要求。

机械工业出版社还建立了完善的项目管理、编写组织、出版规范和网络支撑四个方面的工作体系来保证图书质量。各组编单位投入了大量的精力组织行业权威专家规划内容结构、研讨内容特色；参与图书编写的主创人员也不计报酬，自觉自愿地把自己的聪明才智和研究成果奉献给社会，奉献给国家。他们都担负着繁重的科研、教学、行业管理或生产任务，为了使此书能够早日与大家见面，他们不辞辛苦、加班加点。因为他们都有一个共同心愿——帮助企业快速成长，使中国由大变强。

在此，衷心地感谢为此项工作付出大量心血的组编单位、各位专家、各位撰稿人、编辑出版及工作人员！

尽管我们做了大量工作，付出了巨大努力，但仍难免有疏漏或错误之处，敬请读者批评指正！

《中国战略性新兴产业研究与发展》编辑部

2012 年 6 月

目录 CONTENTS

序言
前言
编写说明

第1篇 数控机床技术特征及其产业发展概况

第1章 数控机床发展历程 2
1.1 数控机床技术的演进 2
1.2 数控机床的特点 3
1.3 数控机床的工作原理及基本构成 4
1.4 数控机床的分类 7
1.5 数控机床的技术特征 10

第2章 数控机床产业总体发展状况 12
2.1 我国数控机床产业在世界上的地位 12
2.2 世界数控机床的发展趋势 24
2.3 我国数控机床的发展现状 32

第2篇 国内外数控机床产业差距及实现跨越发展的措施

第3章 国内外数控机床产业发展比较 52
3.1 技术水平比较 52
3.2 发展模式比较 64
3.3 发展环境比较 71

第4章 加快实现我国数控机床产业跨越发展的措施 77
4.1 加大国际化经营力度 78

4.2 提高创新能力，实现可持续发展.....80
4.3 加强基础、共性技术的研究、.....85
4.4 推动工程化、产业化发展.....92
4.5 创新发展，实现跨越发展的目标.....101

第3篇 我国高端数控机床产业发展分析

第5章 我国高端数控机床产业发展方向 106
5.1 高端数控机床的适用技术.....107
5.2 中国的制造业需要中国的高端数控机床来武装.....110
5.3 我国高端数控机床产业的发展方向.....112

第6章 开发适合战略性新兴产业需要的关键设备 125
6.1 开发适用于汽车及其零部件加工的数控机床.....126
6.2 开发适用于航空航天零件加工的数控机床.....147
6.3 开发适用于轨道交通行业需求的数控机床.....173
6.4 开发适用于船舶行业零件加工的数控机床.....178
6.5 开发适用于电力行业需求的数控机床.....186
6.6 开发适用于电子信息产业的数控机床.....192
6.7 开发适用于机床制造业的工作母机.....200
6.8 我国机床行业为制造业服务的创新案例.....201

第7章 高档数控机床与基础制造装备科技重大专项引领机床行业技术进步 213
7.1 专项任务.....213
7.2 专项成果及应用.....230

第4篇 我国数控机床产业发展战略及路线图

第8章 我国数控机床产业政策分析及发展战略思考 262
8.1 科技支撑计划.....262
8.2 国家重大科技专项.....264

8.3 机床工具行业“十二五”发展规划 281
8.4 行业发展值得注意的若干倾向性问题 288
8.5 战略思考 290

第9章 数控机床产业跨越发展路线图 298
9.1 产业振兴路线图 299
9.2 技术发展路线图 325
9.3 产品服务路线图 335

附 录

附录A “十二五”国家战略性新兴产业发展规划 344
附录B “数控一代”装备创新工程行动计划 378
附录C 高端装备制造业“十二五”发展规划 386
附录D 智能制造装备产业“十二五”发展规划 399
附录E “数控一代”机械产品创新应用示范工程“十二五”规划 406
附录F “十二五”制造业信息化科技工程规划 416
附录G 机床工具行业“十二五”期间工作要点（试行） 430
附录H 标准化事业发展“十二五”规划（摘编） 436
附录I 国家“十二五”科学和技术发展规划（摘编） 443
附录J 国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定（摘编） 469
附录K 国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）（摘编） 477
附录L “机床与基础制造装备”国家科技重大专项概况 503
附录M 国务院关于加快振兴装备制造业的若干意见 506

参考文献

第 1 篇

数控机床技术特征及其产业发展概况

第 1 章　数控机床发展历程

1.1　数控机床技术的演进

自从 1952 年美国研制出世界上第一台数控铣床，世界数控机床产业就开始了长足的发展。随着航空航天、汽车、高速铁路等先进制造业的飞速发展，对数控机床的要求越来越高，而数控系统技术的突破更为数控机床技术的进步提供了条件。世界数控机床向着高效柔性化、高精度、高可靠性、复合化及智能化发展，环境友好型的绿色制造技术充分体现了全球节能环保的理念。数控机床技术的发展历程见表 1–1。

表 1–1　数控机床技术的发展历程

时间	技 术 发 展
1952 年	美国麻省理工学院研制出世界上第一台数控机床，它是由电子管组成的数控装置和液压伺服马达驱动的三轴数控铣床，开创了数控机床产业发展的先河
20 世纪 50—60 年代	美国、日本、德国、英国、苏联等国家相继研制出数控机床并逐步进入商品化试生产，1964 年，美国通用电气公司推出晶体管化的数控装置商品。但数值控制技术的内涵尚未统一，主要有两类：一类是以计算机为支撑对运动全过程伺服控制的计算机数控机床；另一类是对工序设定的起动、停止位置进行控制的顺序控制机床。1958 年，清华大学和北京第一机床厂合作研制出我国第一台电子管电路控制系统的 X53K 型数控立式升降台铣床，国内也随之进入数控机床的研制阶段
20 世纪 70 年代	出现了大规模集成电路和小型计算机，尤其是微处理器的出现，使数控装置的体积大大缩小，它可以与插补单元、可编程序控制器（PLC）等集成为计算机数控装置，具有较完善的功能和较低的成本，确立了其在数控机床发展中的主流地位，有力地推动数控机床产业进入了发展阶段
20 世纪 80 年代	数控机床品种迅速扩展，作为多品种、小批量零件的高效生产的柔性制造单元（FMC）和柔性制造系统（FMS）在生产中得到成功的应用和发展。在发达国家，数控机床产业已成为其机床行业的主力军；我国则进入小批量生产阶段

（续）

时间	技 术 发 展
20 世纪 90 年代	高速化技术发展形成的高效、精密数控机床，兼具柔性和高生产率的特点，由其为主体组成的柔性生产线（FML）已成为汽车行业等大批量生产行业的主要制造设备。另一方面，针对多品种、小批量的需要，发展以信息集成为监控管理基础的各类数控机床集群，规模较大的可形成自动化工厂，标志着数控机床产业化进入成熟阶段
21 世纪	数控机床技术进入了复合化、精细化、智能化、节能环保化、网络化，向敏捷制造与虚拟制造技术相结合的更高阶段迈进。我国数控机床技术在近几年有了很大的发展，总体上约处于 20 世纪 90 年代末、21 世纪初的国际先进水平

1.2 数控机床的特点

（1）加工适应性强，具有优良的柔性　数控机床可实现多轴联动，能够完成复杂型面的加工。当改变加工零件时，不必重新调整机床，不需要重新设计凸轮、靠模、样板或其他模具等专用工艺装备，只需根据所更换零件的工艺特征，通过编制加工程序就可加工不同形状的零件。如果采用成组技术，更利于计算机辅助编程，使数控机床可以快速地从一种零件的加工转变为另一种零件的加工，不仅适合单件、小批量、新产品的试制等零件加工，也因其自动化功能而适合大批量生产。数控机床具有的优良的柔性，可缩短生产准备周期，减少工艺装备费用，加快产品研制周期，适应制造业对加速产品的更新换代需要。

（2）加工质量稳定、精度高　数控机床是以数值形式给出指令进行自动加工的，避免了人为误差。对于同一批零件，由于使用相同的机床和刀具及相同的加工程序，刀具的运动轨迹完全相同，零件加工的尺寸一致性好，并且质量稳定。数控系统的脉冲当量已达到 0.001~0.000 1mm，超精密机床甚至可达 1nm。数控机床通过伺服电动机变速驱动，它的传动链结构较短，进给机构的反向间隙和丝杠的螺距误差可以通过数控装置进行补偿，有的系统还具有温度补偿和空间误差补偿等功能，加工精度不受零件复杂程度的影响，保证了较高的制造精度，也便于对数控机床进行过程质量控制。

（3）生产效率高　数控机床具有宽泛、无级的主轴转速和进给速度，有利于针对不同零件材质选用最佳的切削用量，且机床良好的结构刚性允许采用较大的切削用量，有效地节省了机动工时。数控机床具有自动刀具交换功能、自动工

件交换功能、快速加减速功能、快速移动和定位功能等，大大缩短辅助工时。同时，由于数控机床具有精确的定位系统，可省去工序之间的停机检验与测量，机床的加工利用率高，加工的零件质量稳定。因此，数控机床的生产效率和综合效益较非数控的普通机床大为提高。

（4）加工自动化程度高　数控机床的高柔性、高效率的自动化加工能力，改变了高效加工工艺的设计原则，将传统的普通机床各台承担单个工序的分散工艺转变为由一台数控机床加工多道工序的集中工艺。一台数控机床在一次装夹的情况下，几乎可以完成零件的全部加工工序，它可以代替数台普通机床。数控机床与机器人或自动机械手配合，可以实现无人看管生产。数控机床加工过程是按输入的程序自动完成的，操作者只需进行对刀、装卸工件、更换刀具，在加工过程中，主要是观察和监视机床运行，因而可减轻操作者的劳动强度，改善劳动条件；同时，还可以减少二次装夹误差，节约工序之间的运输、测量和安装等辅助时间，减少管理费用，降低废品率，节省厂房占地面积，提高经济效益。

但是，数控机床初期投资较高，对设备的维护和管理要求较高，对操作人员的技术水平要求很高；同时，数控机床由众多机、电、液、气等元件、零部件组成，出现功能故障的概率较高。因此，要用好数控机床，一定要有相应的培训，操作者要有足够的知识积累，同时还要有很强的工作责任心并实施科学的管理，提高数控机床的利用率，才能发挥数控机床的优势，实现其更高的经济价值。

1.3　数控机床的工作原理及基本构成

上述的数控机床一系列特点表明，它是一种最先引入电子、信息控制等技术并与其紧密结合的机械制造装备，由此出现了“机电一体化（Mechatronics）”的新词条。1981 年，日本机械振兴会进一步把机电一体化解释为：“在机械主功能、动力功能、信息与控制功能上引进电子技术，并将机械装置与电子装置以及软件有机结合而成的系统。”但由于该定义偏重于多专业的功能集成，由此引发出“机电液一体化”“机电仪一体化”“机电光一体化”等以功能为表象的名称，而忽略了其内在的本质。

1996 年 3 月，美国电气与电子工程师协会与美国机械工程师协会对机电一体化进一步定义为：“在工业产品和过程设计与制造中，机械工程和电子与智能计算机功能的协调集成。”该定义更多地强调了机电一体化应具有智能的内涵。本书将在此基础上阐明数控机床的工作原理及其工作特点，并着重分析数控机床

的智能化历程及发展预测。

具有机电一体化特征的数控机床，不仅成为精度更好、效率更高、功能更强且具有柔性自动化的先进加工装备，也为其他制造装备例示了与智能化技术结合的广阔前景。当然，不同类型的制造装备，其适用的智能化技术也不尽相同[1]。

现代数控机床的基本工作原理如图 1–1 所示，它主要由计算机数控系统（CNC 系统）和机床结构及功能执行部件（含电动机）两部分集成。其中，CNC 系统由计算机数控装置与驱动控制单元等组成，它可对运动轨迹、速度以及相关的静动热态误差进行抑制和补偿，实现不同程度的智能控制。因此，CNC 数控机床（以下简称数控机床）是一种以过程控制为主，并辅以逻辑顺序控制的柔性全自动化机床。

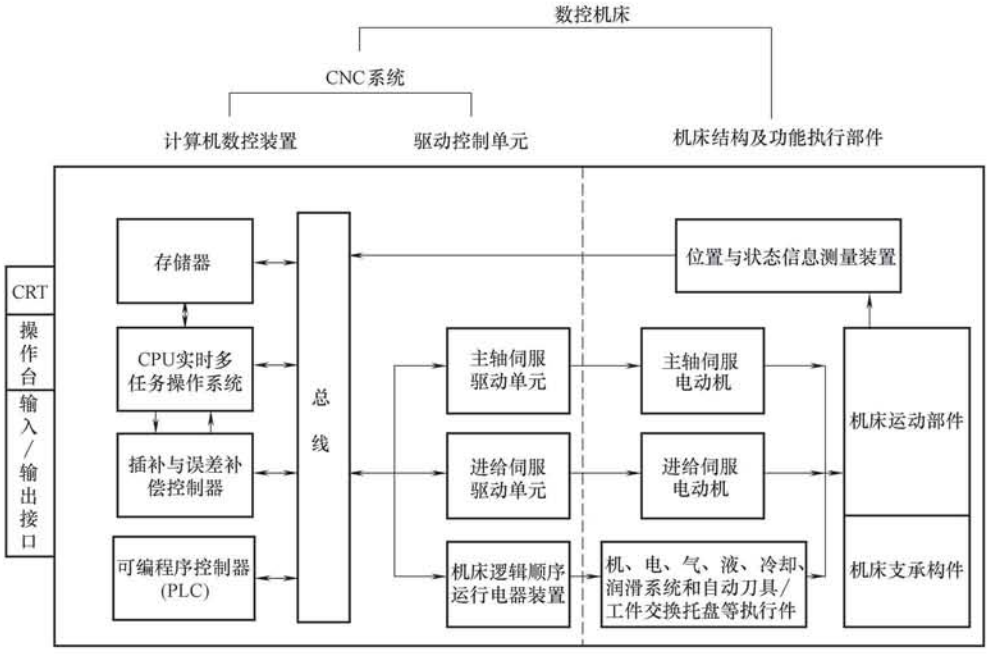


图 1–1　现代数控机床的基本工作原理

20 世纪 70 年代后期，微处理器技术得到迅速发展，由于它的小型化、超大规模集成化电路具有高信息处理速度与低成本的优点，其与机床各种运行功能控制器可集合成性能完善并具有智能发展前景的计算机数控装置。计算机数控装置的出现对开创机电一体化技术起了重要的作用。

与此同时，曾在 20 世纪 50—70 年代发展的以顺序控制为主的数控装置（NC）和以一台大型计算机同时控制多台数控机床的直接控制装置（DNC）则

在数控机床领域内不再着力发展。其中，数控装置由于不具有运动过程的反馈控制，主要用可编程序控制器（PLC）对仅作线性进给运动的钻镗组合机床和冲压机床等按其起动、停止的位置进行点位编程，属于对驱动顺序的逻辑控制，已不归类于现代数控机床的范畴。

数控机床的 CNC 系统除具有高速数值运算和逻辑判断的功能外，还有根据加工表面形状按照一定的数学模型对运动轨迹进行细分的插补运算功能，以实现程序所要求的运动轨迹的精度。但是，基于跟踪原理的伺服驱动系统存在位置滞后误差和加减速引起的滞后误差，尤其在多轴联动加工曲面时，运动参数会出现急剧的变化，这时，单纯按照运动轨迹的几何形状所编的程序就难以控制加工精度，故而开始应用自动控制理论中的自适应控制、PID 控制等算法，使数控机床能够根据运动参数的变化状态对伺服控制系统作出适应性调整，以减少稳态误差和提高伺服系统的稳定性。然而，随着数控机床向高速和高精加工发展，非线性因素的影响日益突出，已有的控制理论算法已难适应。在 20 世纪八九十年代又进一步发展了对伺服控制位置环的前馈控制和伺服控制速度环的前瞻控制等技术。利用这些技术，可以在预览加工程序的基础上作出预估的补偿值，通过前馈补偿跟踪误差，通过前瞻运动速度的变化合理调整加 / 减速形态，减少跃度（俗称加加速度）引起的动态误差，实现运动精度的智能控制，有利于提高加工的尺寸精度和形状精度。

数控机床的智能技术是在计算机的高速运算和逻辑判断能力的基础上发展起来的，早期的智能技术主要反映在它具有独立处理信息的能力上。例如，数控机床可以根据被加工零件的几何形状和尺寸参数，自动编制出加工程序，并可对切削过程进行仿真，监视和防止加工过程出现干涉、碰撞等不正常现象。此外，数控机床能依据制造执行系统的管理信息且在网络支持下，即时调整协同和集成的制造环境，以支持敏捷制造。

进入 20 世纪 80 年代，数控机床的智能化技术进一步向各种功能执行机构延伸，这就需要根据被控对象的物理特性，建立相关的控制模型和研制相应的控制器，依据实时采集的信息，通过智能决策来调整控制参数，以驱动相应的机电一体化执行机构，保证运行位置与状态的优化。运行性能优化的智能控制首先在前述的伺服运动的自适应控制领域开展。对于这类智能控制，都是针对某项需要约束的性能，通过自动调整相关参数，使系统的该项性能经约束控制达到预定的指标，故称为约束型智能化控制，简称约束型控制，目前常见的有：

1）伺服控制的自适应与前馈、前瞻控制技术。

2）机床结构温度场及热误差综合补偿控制技术。

3）机床结构振动主动抑制技术。

4）加工过程最佳适应控制技术。这种技术目前主要应用于加工参数易于实时采集和调控的场合，如电火花成形加工和激光加工等过程优化控制场合。

对于一些较复杂的由多种因素耦合形成的性能，如精密加工出现的微细波纹是由受迫振动、自激振动、运动轨迹偏差以及切削过程在切削区的弹塑性变形等综合形成的，又如精度寿命和运行可靠性受结构设计和制造装配质量等多方面因素影响，这显然难以建立精确的模型，故需要发展由神经网络和专家系统组成的具有自主学习、自主调整能力的人工智能系统，以通过实验构建适用的智能控制模型，使智能技术由约束型智能化进入自主型智能化[2]。

1.4 数控机床的分类

1. 按工艺用途分类

（1）金属切削类数控机床　包括数控车床、数控钻床、数控铣床、数控磨床、数控镗床及加工中心等。这些机床都有柔性自动化的特点，既适用于单件、小批量和多品种零件加工，又因其具有很好的加工尺寸的一致性、很高的生产率和自动化程度，易按照加工对象组成多种类型的数控机床柔性生产线。

（2）金属成形类数控机床　包括数控折弯机、数控组合压力机、数控弯管机、数控转塔冲床、数控伺服压力机、数控点碾压成形机等。

（3）数控特种加工机床　包括数控电火花线切割机床、数控电火花加工机床、数控火焰切割机、数控激光切割机床、专用组合机床等。

（4）其他类型的数控设备　主要为与数控加工机床集成的，用于检测、装配、搬运、上下料等，如自动装配机、多坐标测量机、自动绘图机和工业机器人等。

2. 按运动方式控制分类

（1）点位控制数控机床　点位控制数控机床的数控系统只控制刀具或工作台从一点移至另一点的精确定位，然后进行定点加工，在运动和定位过程中不进行任何加工工序，因而不需对点与点之间的路径进行控制，如数控钻床、数控镗缸机、数控焊机和数控弯管机等。

（2）直线控制数控机床　直线控制数控机床的数控系统除控制机床的运动部

件实现一个坐标位置到另一个坐标位置的精确移动和定位外，还要控制在这两点之间以指定的进给速度进行直线切削，而且能实现平行于坐标轴的直线进给运动或控制两个坐标轴实现斜线进给运动，如数控平面铣床、数控车床和数控磨床等。

（3）轮廓控制数控机床　轮廓控制数控机床的运动部件能够沿两个或两个以上的坐标轴运动。这种控制方式能够对两个或两个以上的坐标轴进行联动控制，不仅控制机床运动部件的起点与终点坐标位置，而且控制整个加工过程中每一点的速度和位移量，即控制运动轨迹，加工出规定的直线、曲线或空间曲面。这种数控机床有数控铣床、数控车床、数控磨床和加工中心等。对于复杂型面的零件，需用具有四轴或五轴联动功能的车削中心、加工中心、铣车复合机床和车铣复合机床等加工。

3. 按控制方式分类

（1）开环控制　开环控制即不带位置反馈装置的控制方式（图 1–2）。开环控制伺服机构由步进电动机驱动单元和步进电动机组成。CNC 发出指令，由步进电动机驱动单元发出脉冲信号，每一个脉冲信号使步进电动机转动一定的角度，通过滚珠丝杠推动工作台移动一定的距离。开环控制方式下，以每秒脉冲数来控制移动速度，并用改变相序的方法实现正、反向运动。

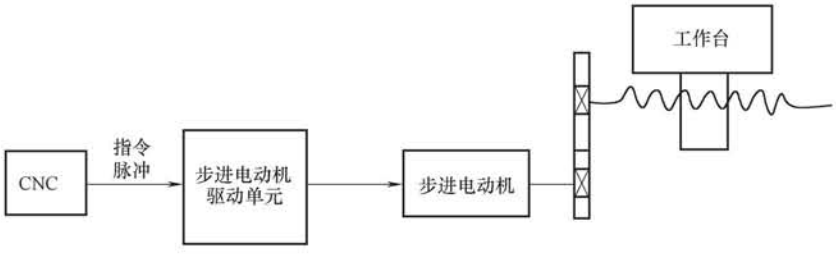


图 1–2　开环控制方式示意图

开环控制的伺服机构比较简单，工作稳定，容易掌握使用，但无法对运行中出现的丢步现象予以补偿，故精度和速度的提高受到限制，目前在数控机床产品中已很少应用。

（2）半闭环控制　半闭环控制是在开环控制伺服电动机轴上装有角位移检测装置（图 1–3），通过检测伺服电动机的转角间接地检测出运动部件的位移，并反馈给数控装置的位置比较电路，然后与输入的指令进行比较，用差值控制运动部件以补充位移，直到差值消除为止。

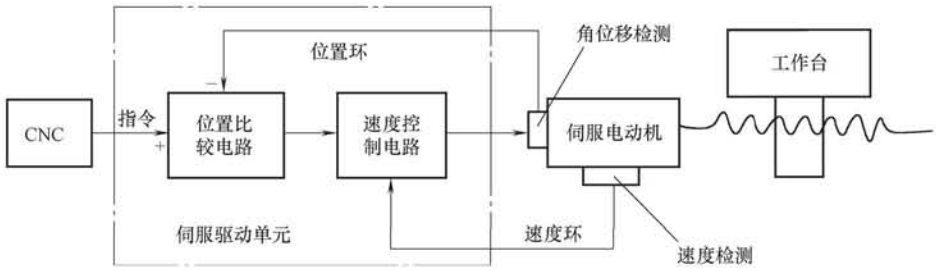


图 1–3　半闭环控制方式示意图

半闭环控制伺服机构所能达到的精度、速度和动态特性优于开环伺服机构，为大多数中档的中小型数控机床所采用。

（3）闭环控制　闭环控制是在机床的最终运动部件的相应位置直接安装直线式或回转式检测装置（图 1–4），将直接测量到的位移或角位移值反馈到数控装置的比较器中与输入指令位移量进行比较，用差值控制运动部件作补充位移，使运动部件严格按实际需要的位移量运动，直到差值消除时才停止移动，达到精确定位。

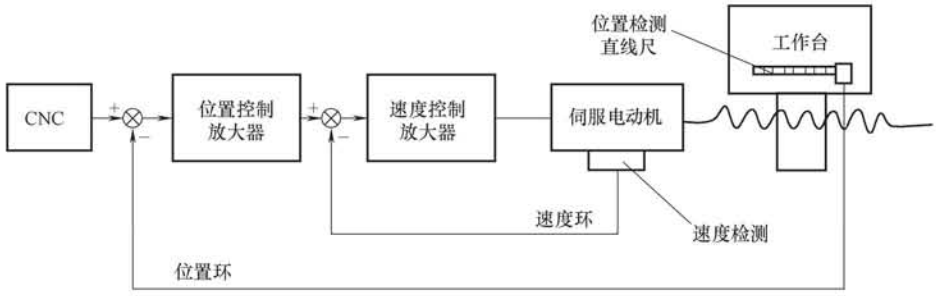


图 1–4　闭环控制方式示意图

闭环控制系统的定位精度高于半闭环控制，但结构比较复杂，调试维修的难度较大，常用于高精度和大型数控机床[3]。

4. 按联动轴数分类

联动轴的数量并不是该机床具备的可控轴的数量，而是指加工一个表面需要同时进行加工运动的独立轴的数量。独立轴是指该轴运动并不受其他轴影响，如数控龙门铣床的横梁升降时，左、右两轴分别命名为 W_1 和 W_2，但为保证横梁平稳升降，就要求 W_1 和 W_2 同步运动，故 W_2 随动于 W_1 而非独立轴，因此横梁升降运动只能作为一根轴的运动。

（1）两轴联动数控机床　两轴联动数控机床能同时控制两个坐标轴联动，适

于数控车削旋转曲面或数控铣削平面轮廓。

（2）两轴半联动数控机床　这种机床在两轴作平面联动的基础上增加了第三轴的移动，如当机床坐标系的 X、Y 轴完成平面内的联动加工后，接着由 Z 轴作周期性进给。两轴半联动加工可以用分层加工的方法，实现对形状不复杂的三维体，如椭圆、锥台、棱柱体等 Z 向曲率几乎不变的三维体加工。

（3）三轴联动数控机床　这种数控机床能同时控制三个坐标轴的联动，用于一般曲面的加工。一般的型腔模具均可以用三轴联动数控机床加工完成。

（4）多坐标联动数控机床　这种数控机床能同时控制四个及以上独立坐标轴的联动。多坐标联动数控机床的结构复杂，精度要求高，程序编制复杂，适于加工形状复杂的零件，如叶轮、叶片、螺旋桨、机翼加强筋等零件。

1.5　数控机床的技术特征

数控机床作为机械加工的主要制造装备，在装备制造业中应用面很广，其功能、性能和质量对各类制造装备的品质起关键作用，它具有以下两个主要技术特征：

1）广泛的服务面导致对数控机床的品种、类型和规格的需求众多，显然不能像一般机械制造装备那样为每种功能用途设计新的适用的数控机床产品，因此它的功能设计的原则是：在研究和掌握各类适用的加工工艺方法，如车、铣、镗、磨、精整加工和特种加工（激光、电火花、水力等）等的机理、要素和特征基础上，借助模块化结构设计技术形成集约制造，从而能及时、经济地发展相应的通用型或专用型的数控机床产品，以应对不同用途的制造装备的加工需要。正是由于数控机床的结构和加工特点，传统的单一加工方法组成的分散工序的工艺设计，部分已经被更高效的集中工序所替代，目前正在向集约型复合工序方向发展。

2）数控机床是制造装备中最先应用计算机技术而形成的机电一体化产品，与传统的机床相比，它具有以下三方面的重大进展：

① 具有精度实时反馈控制和高速运动平稳的优良性能，为机床开拓了不断提高加工精度和加工效率的前景。

② 应用程序编制可实现工序的柔性调整，从而使数控机床不仅能在大批量生产条件下实现自动化，而且在单件、小批量生产条件下也能充分发挥其自动化的特点。

③ 构建由计算机与相关控制器集成的计算机数控（CNC）系统，为发展各种智能化控制与执行能力提供了技术发展平台。

自 20 世纪 50 年代数控机床出现后，它一直沿着提升加工精度和效率，以及发展人工智能过程优化两个方面并进协同发展，如图 1–5 所示。图中不同年代所对应的技术特征，正是该年代的高端数控机床所拥有的先进技术。

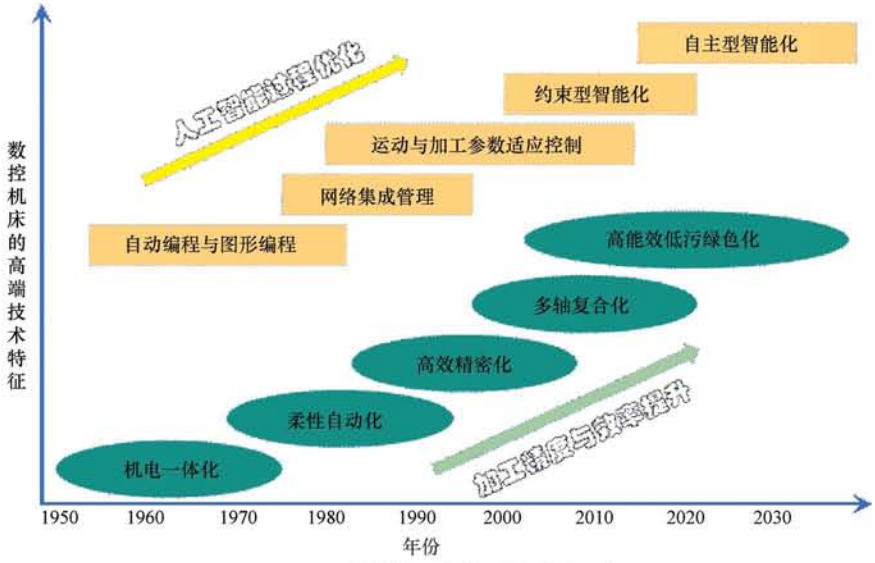


图 1–5　数控机床技术发展历程

从图 1–5 可看到，数控机床的技术发展总体上是从 20 世纪 70 年代“机电集成的柔性自动化”向“集约制造智能化”方向发展，并进一步探索可持续发展自主型智能化的研究。因此，数控机床当前正处于方兴未艾的新一代产品的成长期，要把握好新一代数控机床的发展良机，就需要加强对国外先进的高端数控机床的应用技术和基础性能的试验分析，确定提升方向，并通过创新设计系统地集成适用的先进技术，在探索保障性能优化的约束型智能技术和深化复合加工的集约制造技术的同时，从工艺方面建立精心制作和促进技术发展的环境，为提升产品的制造品质和运行可靠性提供保障，从而推进数控机床性能和品质的跨越式发展。

第 2 章　数控机床产业总体发展状况

2.1　我国数控机床产业在世界上的地位

2.1.1　21 世纪初我国数控机床进入高速发展期

我国机床产业在世界机床工业中的地位越来越重要。从“十五”初期起，我国就成为世界最大的机床消费国和进口国，2009 年起，我国又成为世界机床第一大生产国。

从机床消费情况来看，2006—2010 年，世界金属加工机床市场呈现前期上升、中后期下滑、末期恢复的增长曲线。2009 年，全球机床消费由 2008 年的 758.45 亿美元急速下降至 502.0 亿美元，低于 2005 年的水平。2010 年，国际机床市场呈现恢复性增长，但依然不振，全球机床消费 610.7 亿美元，略高于 2006 年，是 2005 年的 1.2 倍。2011 年，全球机床消费继续增长，达到 821.4 亿美元，为历史最高点。2006—2011 年世界金属加工机床消费情况如图 2-1 所示。

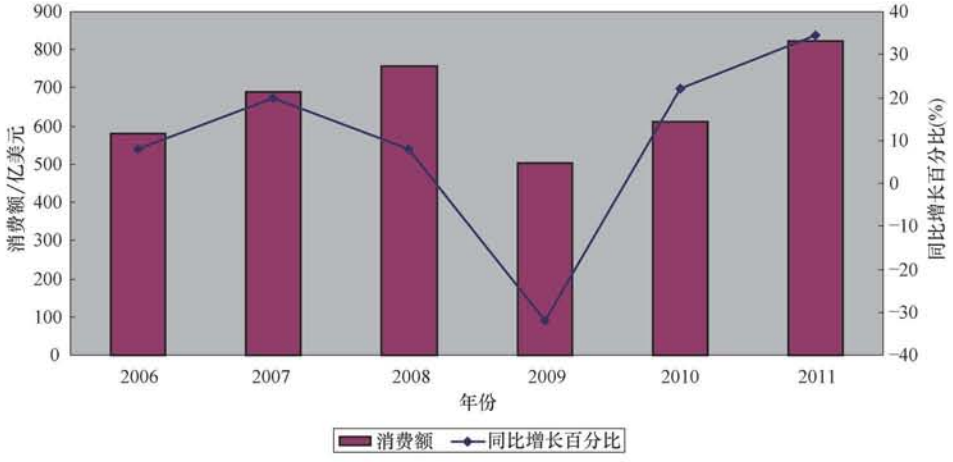


图 2-1　2006—2011 年世界金属加工机床消费情况

“十一五”期间（2006—2010 年），在世界金属加工机床消费总额中，中国、德国、日本、美国、意大利分列前五位，合计占比 66.33%。其中，中国消费机

床 972.41 亿美元，占世界机床市场份额的 30% 以上，是列第二位德国的 2.9 倍。中国机床消费除 2009 年同比微幅增长外，其余年份均保持高速的增长。2010 年，韩国、俄罗斯及土耳其机床消费已经恢复至国际金融危机前的水平；日本、巴西、印度、墨西哥、加拿大、英国等国家和中国台湾地区的机床消费依然处于恢复过程，其他国家则依然呈现疲软态势。2011 年，我国金属加工机床消费额达 390.9 亿美元，同比增长 37.3%，位列首位，是列第二位德国的 5.35 倍，占世界 28 个机床消费国家（地区）的 45.51%。2006—2011 年世界金属加工机床主要消费国家（地区）见表 2–1。

表 2–1　2006—2011 年世界金属加工机床主要消费国家（地区）（单位：亿美元）

序号	国家或地区	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	“十一五”期间
1	中国	131.00	161.70	197.01	197.90	284.80	390.9	972.41
2	德国	51.40	74.55	97.56	57.98	50.34	73.08	331.82
3	日本	78.59	76.37	77.93	32.40	44.45	63.46	309.73
4	美国	63.61	58.64	69.20	32.46	27.52	49.30	251.42
5	意大利	37.86	70.62	52.91	27.99	27.69		217.07
6	韩国	40.20	41.50	37.96	26.79	42.64	67.47	189.09
7	中国台湾	28.87	35.63	26.38	8.68	15.06		114.61
8	巴西	14.23	18.23	25.47	14.88	14.88		87.70
9	印度	11.91	18.09	19.55	12.05	17.40		79.00
10	墨西哥	12.46	16.70	15.46	10.13	10.13		64.87

注：表中序号以“十一五”期间合计由大到小排列。数据来源于《2011 中国机床工具工业年鉴》和《2012 中国机床工具工业年鉴》

再从进口情况来看，2011 年我国机床进口额 130.7 亿美元，见表 2–2。其中，金属切削机床进口额 105.4 亿美元，同比增长 40.0%；成形机床进口额 27.0 亿美元，同比增长 42.7%，其进口额已超过数控装置，跃居机床行业各类产品进口额的第二位。

从产值上看，2010 年，我国机床产值 209 亿美元，同比增长 35%，占世界 28 个主要机床生产国家和地区总产值 663 亿美元的 31.52%。2011 年，我国金属加工机床产值达 282.7 亿美元，同比增长 29.4%，占世界 28 个主要机床生产国家

和地区总产值 932.2 亿美元的 30.33%。其中，金属切削机床产值达 197.5 亿美元，同比增长 26.2%；成形机床产值达 85.2 亿美元，同比增长 37.4%。

表 2-2 2009—2011 年世界机床进口国家（地区）前 10 位 （单位：亿美元）

序号	国家或地区	2009 年 进口额	2010 年 进口额	2011 年 进口额
1	中国	59.000	94.200	130.700
2	美国	22.619	21.065	43.248
3	德国	22.457	19.076	29.215
4	韩国	11.330	14.440	17.910
5	印度	9.390	12.500	18.040
6	俄罗斯	10.227	#10.691	11.180
7	墨西哥	*9.164	#9.164	12.691
8	意大利	8.927	9.008	11.825
9	巴西	*8.972	#8.972	1 224.400
10		中国台湾 3.409	中国台湾 6.973	土耳其 10.300

注：带*的按重点企业数据汇总后估算；带#的按当年汇率折算；2011 年数据来源于 Gardner 出版公司．由上海科学技术情报研究所（ISTIS）整理的《2011 年世界机床产值》。其他数据来源于《2011 中国机床工具工业年鉴》。

由于国际金融危机和欧洲债务危机，欧美经济回升乏力，给我国机床行业的持续增长带来不小的影响。2012 年 1—10 月，我国金属切削机床行业工业总产值为 1 158.8 亿元，同比降低 2.2%；金属切削机床产量为 664 678 台，其中数控金属切削机床产量达到 167 555 台，同比分别降低 16.8% 和 19.7%；金属切削机床进口额达 93.6 亿美元，同比增长 8.1%。

我国机床工具行业作为一个整体在国际上的地位日趋重要，个别企业已进入世界机床产值排名前列。根据美国 Gardner 出版公司“金属加工内部报告”（Metalworking Insiders' Report）中的“世界金属加工机床排行榜”显示，沈阳机床（集团）有限责任公司（以下简称沈阳机床集团）2011 年产值和销售额均达 27.8 亿美元，首次位居世界机床企业第一位，大连机床集团有限责任公司（以下简称大连机床集团）排第 4 位。2011 年世界金属加工机床生产企业排行榜见表

2–3。而在 2005 年以前，我国还没有任何机床企业进入世界机床企业排行榜的前 10 名。

表 2–3　2011 年世界金属加工机床生产企业排行榜 （单位：亿美元）

排名	公司名称	国家 / 地区	财年截止时间	机床产值	企业销售额	主要品牌
1	沈阳机床集团	中国	2011.12	27.827	27.827	SMTCL, S1，Schiess, ZJ, Fiyang,
2	山崎马扎克	日本	2009.03	25.250	25.250	Mazak
3	通快	德国	2011.06	23.921	27.591	Trumpf, TruPunch, TruBend, TruLaser
4	大连机床集团	中国	2010.12	23.806	24.292	DMTG, Ingersoll Production Systems, BoKo
5	天田	日本	2012.03	23.356	23.563	Amada, Amada Wasino
6	小松	日本	2011.03	22.619	215.646	Komatsu, NTC
7	Gildemeister	德国	2011.12	22.131	23.500	Deckel Maho，Gildemeister
8	捷太格特	日本	2011.03	20.122	111.790	Toyoda, Koyo
9	森精机	日本	2012.03	19.685	19.685	Mori Seiki, Dixi
10	大隈	日本	2012.03	17.852	17.852	Okuma
	西门子	德国	2009.09	29.598	474.745	Sinumerik, Simotion, Simatic
	发那科	日本	2010.03	14.174	27.316	FANUC

注：西门子、发那科的产品为数控装置和伺服电动机及伺服控制单元，数据来源《中国机床工具报》，2012 年 8 月 5 日，第 4 版。

2011 年，我国机床工具生产、进口及出口总体保持了较高速的增长，市场需求高端化的趋势加速。

近几年，国产金属加工机床的数控化率无论以数量还是金额计算，均在不断提升。2011 年，产量数控化率比 2010 年提高 1.8 个百分点，产值数控化率比

2010 年提高了 2.2 个百分点，国内金属加工机床产值增速大大高于产量增速，金属加工机床平均单价同比增长 15.3%，其中成形机床平均单价同比增长 35.9%。

2011 年我国金属加工机床出口市场中，无论是向美国、日本、德国等传统市场还是向印度、巴西、俄罗斯等新兴市场的出口，均呈现快速增长态势，全年出口去向前 10 名排序如下：美国、印度、巴西、日本、德国、俄罗斯、印度尼西亚、中国香港、泰国、韩国。其中，印度、巴西、俄罗斯、印度尼西亚等新兴市场发展很快。

2012 年，机床工具市场需求进一步升级。一方面，用户对机床制造企业提供整体解决方案的能力、自动化程度、生产效率、产品交货期、售前售后服务等都提出了更高的要求；另一方面，汽车行业的排放标准升级对装备提出了更严格的要求，航空航天、军工、能源装备、船舶制造和战略性新兴产业需要的适应用户工艺要求的装备，仍是高端机床产品的市场驱动力。在市场普遍低迷的大形势下，金属加工机床 1—10 月份累计进口增长 5.6%，与国内企业的实际产销情况形成巨大的反差。金属加工机床进口平均单价同比增长 14.4%，也从一个侧面反映了市场需求结构在不断升级。因此，在世界经济大环境的变化下，机床产品的竞争不能仅依靠价格低，更需要优质和创新。

2012 年 1—10 月，我国机床工具行业经济运行形势严峻，各项经济指标均急剧下滑，加之进口机床工具产品带来的竞争压力，行业走势虽呈稳态，但回升却不容乐观，尚需时日。

值得注意的是，美国和日本出台一系列相关政策，推动制造业“回归本土”。这些更加剧了我国机床行业形势的不乐观性。

但从另一方面来讲，国家宏观调控政策不会发生根本转变，影响机床工具市场的城市轨道交通、核电、航空发动机、汽车排放标准的提升等，都将拉动对高端装备的新需求，预计 2013 年机床工具行业的工业总产值还会保持在 10% 以上的增长速度。

全球金属加工机床制造业虽然总体上已走出衰退期，但国际金融危机和欧洲债务危机的影响深远，世界经济复苏缓慢且进程曲折。近年来，我国在振兴全球金属加工机床制造业中，一直发挥着重要作用。

但是也要看到，我国机床工具行业“大而不强”的局面并没有得到实质性改变，与世界先进水平仍存在很大差距。这可以从 2011 年海关统计数据来说明，我国机床工具产品进出口总额 291.9 亿美元，同比增长 28.4%；进出口逆差再创

新高，达到 113.9 亿美元，同比增长 31.5%，其中金属加工机床逆差 108.2 亿美元，占行业逆差的 95.0%，逆差同比增长 42.9%。2011 年我国金属加工机床出口额 24.18 亿美元，虽然同比增长 30.31%，但仅占国际消费市场的 2.82%。

经济型数控机床是国内数控机床行业发展的起步产品，发展时间比较长，生产企业对此类机床的技术掌握都比较成熟，很多企业都能生产，其中以经济型数控车床、钻床和铣床为主，也包括部分加工中心。

由于经济型数控机床能适应大量初建的中小规模制造企业的需求，在国内拥有大量的市场空间，在国际金融危机爆发之前产量增长较大。但从国际金融危机以后的情况来看，由于产品市场的格局发生变化，国内经济型数控机床的生产能力出现明显过剩。

中国机床工具工业协会的调研结果显示，以经济型数控机床为主业的企业受国际金融危机冲击比较大，尤其是一些产品档次低、产量大的企业受到的冲击更大，部分企业甚至出现限产的现象。

造成这种情况的主要原因是由于生产企业比较多，竞争激烈，同时经济型数控车床、钻床和铣床的出口量下降，部分产品出口转内销，进一步加剧了国内市场的竞争。而对于生产机床产品档次较高的企业来说，受到的冲击就要小得多，特别是高精尖的高档数控机床依然供不应求。

我国机床工具行业“大”而“不强”主要表现在：

1）我国机床工业的“大”表现在产值、进口额、消费额位列世界第一。

2009 年，国际金融危机对全球机床行业都造成了严重冲击，而我国机床工具行业却呈现前抑后扬、总体趋稳向好的态势。2009 年，我国机床工具行业完成工业总产值 4 014.2 亿元，同比增长 16.1%，国产金属加工机床产值市场占有率由上一年的 61% 提高到 70%，其中国产数控机床的市场占有率由 51.6% 提高到 62%。2009 年，我国首次成为世界机床第一大生产国。2010 年我国机床工具行业总产值迅猛增长，达到 5 536.8 亿元；2011 年达 6 606.5 亿元，在全球产值中占比超过 30%。

从 2002 年起，我国已连续成为世界最大机床消费国和进口国。特别是 2010 年，我国金属加工机床消费额位居世界第一，达到 284.8 亿美元，以金额计已占全球 53.2%，但这是由于全球金融危机，而中国经济仍平稳增长的反差所形成的结果。从 2006—2010 年总体情况来分析，我国机床消费约占全球的 1/3（图 2–2）。2011 年仍居世界消费首位。

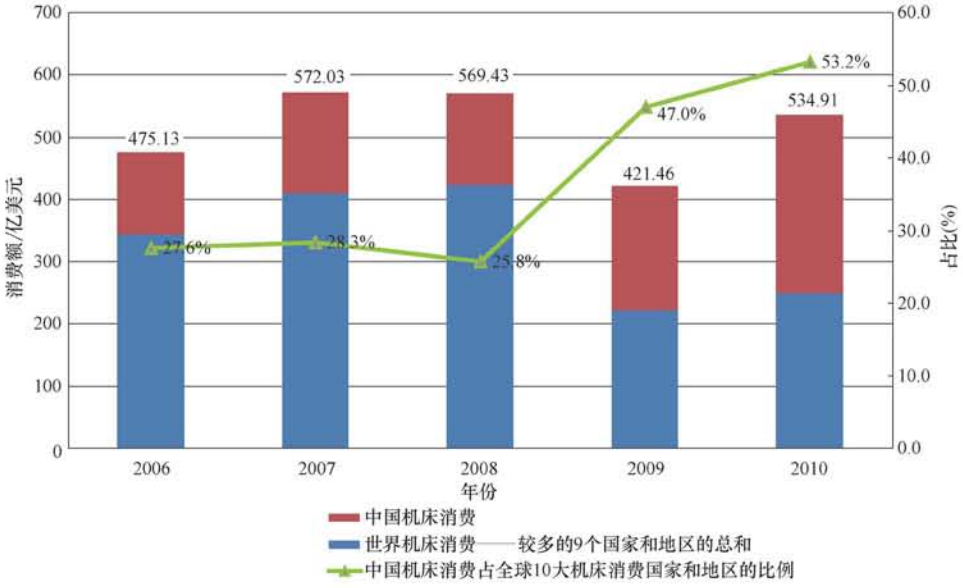


图 2-2　2006—2010 年 10 个主要金属加工机床消费国家和地区情况

2）我国机床工业的“大”还表现在机床企业数量和从业人数最多。

“十一五”期间，我国机床工具行业企业数量和从业人员大增，企业结构发生了根本性的变化。2005 年，我国机床工具行业企业总数为 2 004 家，从业人员达 49.3 万人；2010 年，企业总数增加到 6 367 家，比 2005 年增长 217.7%，从业人员增加到 84.51 万人，比 2005 年增长 71.42%。由于众多中小企业加入机床工具行业，所以私人控股企业数量增长及其在行业中的占比远高于从业人员增长及其在行业中的占比。2006 年，私人控股企业数量达 1 160 家，国有控股和集体控股企业达 838 家，港澳台企业和外资控股企业达 406 家，在行业中占比分别为 48.3%、34.8% 和 16.9%。2010 年，私人控股企业迅速扩张到 4 986 家，国有控股和集体控股企业降为 502 家，港澳台企业和外资控股企业扩展为 724 家，在行业中占比分别为 80.3%、8.0% 和 11.7%。2009 年和 2010 年机床工具行业各分行业情况见表 2-4。由表 2-4 可以看出，我国机床工具行业从业人数、人均劳动生产率、工业增加值等都在增加。

3）我国机床工业的“不强”表现之一是低档产品竞争激烈，高档产品依赖进口。虽然我国机床产值跃居世界第一位，但同时也是世界第一机床进口大国，我国经济建设所需的高档数控机床主要依赖进口。目前，国内的装备制造业基本不能生产大型民用飞机、深水海洋石油装备所需的高端制造装备，90% 的高档数

控机床、95% 的高档数控系统和机器人等依赖进口，工厂自动控制系统、科学仪器和精密测量仪器对外依存度达 70%。

表 2–4　2009 年和 2010 年机床工具行业各分行业情况

行业类别	年份	企业数（家）	从业人员平均人数 / 人	工业总产值 / 万元	人均产值 / 万元	利润总额 / 万元	人均利润 / 万元
金属切削机床	2009	758	204 747	8 874 766	43.35	452 201	2.21
	2010	807	212 760	11 399 659	53.38	676 876	3.18
金属成形机床	2009	582	66 231	2 727 955	41.19	103 261	1.56
	2010	602	76 274	3 652 952	47.89	221 759	2.91
铸造机械	2009	587	57 020	2 900 798	50.87	144 982	2.54
	2010	655	70 629	4 532 545	64.17	303 545	4.30
木工机械	2009	196	22 997	976 806	42.48	33 941	1.48
	2010	210	23 635	1 293 487	54.73	62 588	2.65
机床附件	2009	432	41 622	1 718 937	41.30	73 111	1.76
	2010	452	49 141	2 563 876	52.17	155 388	2.16
工具、量具及量仪	2009	940	132 940	4 299 192	3.23	202 165	1.52
	2010	941	134 535	5 574 675	41.44	363 337	2.70
磨料模具	2009	1 657	149 414	9 501 457	63.59	586 393	3.92
	2010	1 806	174 098	13 947 003	79.71	959 798	5.51
其他金属加工机械	2009	810	78 248	3 946 171	50.43	168 080	2.15
	2010	884	104 054	6 379 455	61.31	361 553	3.47

注：数据来源于《2011 中国机床工具工业年鉴》，表中所有数据均为当年 1—11 月累计数据。

4）我国机床工业的“不强”表现之二是自主创新薄弱，产品质量水平低。从整体上讲，我国机床工业技术水平低，重大技术装备和关键产品远不能满足国民经济快速增长的需要。与发达国家相比，国产数控机床精度保持寿命短，可靠性低，切削工艺负荷能力低。我国机床产品无论在外观、精度、质量、效率，还

是在市场竞争能力方面，与发达国家相比均存在着明显的差距，而且还有进一步拉大的趋势。不少企业装备陈旧，生产工艺落后，产品质量不稳定。一些基础元器件和零部件的可靠性差，机床母机的精度、效率较低。由于国产机床的质量不能满足用户的需求，导致近几年机床进口骤增，进出口逆差巨大，尽管国内机床市场需求旺盛，但将近一半的国内市场被外商占领。

5）我国机床工业的“不强”表现之三是中低档机床产品数量占据了绝大多数，市场应变能力差，不仅高档甚至中档的数控机床严重依赖进口。我国机床企业缺乏提高制造潜能的基础，在加工精度、装配技能、质量控制和精益制造的实施等方面都处于低标准的要求，一旦国际市场的需求格局发生改变，将难以及时制造出适应市场需求的质优价廉的新产品，难以“主动应战”。

6）我国机床工业的“不强”表现之四是缺乏大型国际集团。我国虽然有世界上数量最多的机床制造厂家和最多的从业人员，但缺少著名的跨国机床集团和世界级的‘精、特、专’小巨人企业。目前我国机床行业除发展较好的大型企业，包括沈阳机床集团、大连机床集团、陕西秦川机床工具集团有限公司、北京第一机床厂、重庆机床（集团）有限责任公司、济南二机床集团有限公司（以下简称济南二机床集团）等之外，其他能与世界顶级机床集团比肩的大型集团为数甚少。

7）我国机床工业的“不强”表现之五是关键零部件发展严重滞后，主机面临“去核化”危机。中高档数控机床所需的数控系统、关键功能部件和配套设备主要来自境外，为高档数控机床配套的高档功能部件 70% 需要进口，国产高性能功能部件与主机发展配套严重失调。

8）我国机床工业的“不强”表现之六是制造服务业的发展滞后，价值链的高端缺位。现在装备制造业的发展过度依赖单机和实物量的增长，而为用户提供系统设计、系统成套、工程承包、远程诊断维护、回收再制造、租赁等服务业未能得到充分培育，绝大多数企业的服务收入所占比重低于 10%，主要业务是属于价值链低端的加工装配环节，而国外一些知名企业的服务收入已经超过 50%。

2.1.2 数控机床产业正在由“大”向“强”迈进

“十五”和“十一五”期间，我国数控机床行业经历了快速发展期。首先，国家出台了明确支持数控机床行业发展的若干重要政策，其中有三个重要的文件。第一个文件是《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》，该文件确定“高档数控机床和基础制造技术”作为十六个国家重大科技专项之一，明确提出“提高装备设计、制造和集成能力，以促进企业技术创新为突破口，通过技

术攻关，基本实现高档数控机床、工作母机、重大成套技术装备、关键材料和关键零部件的自主设计制造。”第二个文件是《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》，该文件把振兴装备制造业作为“十一五”规划中推进工业结构优化升级的主要内容，而数控机床则是“十一五”规划中振兴装备制造业的重点之一。第三个文件是《国务院关于加快振兴装备制造业的若干意见》，该文件确定了振兴装备制造业的主要任务，即实现十六个重点突破的关键领域，其中第十二项便是“发展大型、精密、高速数控装备和数控系统及功能部件，改变大型、高精度数控机床大部分依靠进口的现状，满足机械、航空航天等工业发展的需要”。

在这一阶段，我国数控机床行业的发展特点是：

1）随着市场经济体制的建立，企业的管理体制和经营理念随之发生巨大转变。首先，下游行业的需求出现显著变化，对产品的性能、质量、服务和交货期要求提高，个性化需求增加，对企业的管理提出新的要求；其次，产业主管部门的改革使原来体制内的企业失去了“婆婆”，原来的“等、靠、要”已经行不通，企业自主性增强，但也必须对自己的生存负责，主动开拓市场；再次，“九五”期间市场的衰退和进入 WTO 后外资企业的激烈竞争使得企业面临的形势十分严峻，只有改革才有出路。由于市场的急剧变化，很多自主创新能力不强，技术、管理相对落后的企业纷纷退出市场，而一些行业龙头企业纷纷组成产业集团，如杭州机床集团有限公司、上海机床产业园的建立解决了区域行业“大而全”“小而全”的问题，企业形成合力。

2）产业发展国际化。一是随着我国进入世界贸易组织（World Trade Organization，WTO），数控机床的关税率大大下降，2002 年 1 月我国在加入 WTO 后首次调整进口税率，机床类产品税率平均由 14.45% 降到 10.14%，进口猛增。二是国内建立的合资企业数量、产量、产值增长迅速。三是一部分国内龙头企业开始走出去，兼并国外的一些优秀企业，如大连机床集团并购了美国英格索尔生产系统有限公司和曲轴制造系统有限公司以及德国兹莫曼公司，沈阳机床集团并购了德国西斯公司，上海明精机床有限公司并购了德国沃伦贝格公司和日本池贝公司，北京第一机床厂并购了德国科堡公司等。四是国内企业生产标准向国际靠拢，纷纷采用国际标准，通过 ISO 9001 等质量认证。

3）产业集中度大大提高。由于“九五”期间的行业衰退导致一部分企业被淘汰，新的市场情况要求企业能力必须提升，部分龙头企业开始迅速崛起，形成集团公司。大连机床集团有限责任公司销售收入从 2000 年的 6.2 亿元增加到

2005 年的 76 亿元，2011 年，大连机床集团有限责任公司销售收入达 24.292 亿美元，居世界第四位；沈阳机床集团有限责任公司销售收入从 2000 年的 6.48 亿元增加到 2005 年的 51.32 亿元，2011 年达 27.827 亿美元，居世界第一位。出现了一批年销售收入超 20 亿元、10 亿元的企业，标志着行业集中度的急剧提升。此外，属于原机械工业部系统机床工具方面的研发机构也被整合，散布在全国各地的好几家数控技术研究所归入中国机械工业集团有限公司，或者并入大型数控机床集团企业，使得企业的整体创新能力得到加强。

自我国第 6 个五年计划以来，我国政府在每一个五年计划中，通过技术改造和各类科技攻关计划等，对数控机床关键技术的研究开发与应用给予了重点支持。通过“六五”期间引进技术、“七五”期间消化吸收、“八五”期间自主开发、“九五”期间工程化、“十五”期间产业化和高精尖重点应用，到“十一五”期间实施重大科技专项等，我国数控技术与装备从无到有，从少到多，从低到高，取得了可喜的发展和长足的进步。在数控机床应用方面，越来越多地为航天、航空、汽车和能源等国家重点行业提供数控机床产品，并且开始出口；在数控系统方面，经济型数控系统已普及应用，还开发出了五轴联动以及多通道多轴联动的高档控制系统，应用于国产数控机床，打破了国外的技术封锁和限制，并在一定程度上制约了国外产品的价格；在数控机床品种构成方面，不仅在车、铣、镗、磨等通用型机床方面已实现数控化，数控技术还在加工中心、超精密机床、混联机床、复合机床、特种加工机床和一些专用机床产品上得到成功应用。20 世纪 80 年代，我国从发达国家引进了一些数控系统和伺服技术，结束了我国数控机床发展长期徘徊不前的局面。2000 年，可供市场的国产数控机床已达 1 500 多种，年产量已达 125 000 台，约占机床总量的 21%。在企业竞争力方面，机床企业的竞争力不断增强，2011 年沈阳机床集团销售收入首次位列世界金属加工机床企业第一。

就市场而言，近些年来，我国数控机床市场成长迅速。① 产量方面。行业总产量从 2002 年的 2.48 万台，增长为 2010 年的 22.4 万台和 2011 年的 27.21 万台（图 2–3），我国数控机床年产量已居世界首位。② 种类方面。我国生产的数控机床品种从 1995 年的 500 多种增加至 2000 年的 1 500 多种，进而发展到近年的 2 500 多种。在种类极大丰富的同时，高水平的品种不断涌现，新品种功能也日益多元化，多种产品填补了国内空白。③ 结构方面。作为数控机床核心功能部件的数控系统，国产经济型数控系统已形成规模优势，主导了国内市场。国产经济型数控系统在价格和服务方面稳压国外同类产品，市场占有率稳定达到

95%以上。普及型中档数控系统已实现批量生产，并呈稳步上升势态，但国外品牌产品仍然在国内占据优势地位。国产高档数控系统有所突破，正在一些国产高档数控机床上使用和发展完善。国外品牌数控系统在我国高档数控机床上的应用率仍然保持在98%以上。④ 进出口方面。目前进口总额仍然高于出口总额。就机床而言，出口主要是传统车床、铣床及台式工具机和压力机。数控金属切削机床出口品种和数量有逐年增大的趋势。拉动我国出口快速增长的主要产品是磨料磨具、切削工具和机床零部件，而进口增长较快的是加工中心、磨床、特种加工机床、高端数控系统及其零部件。

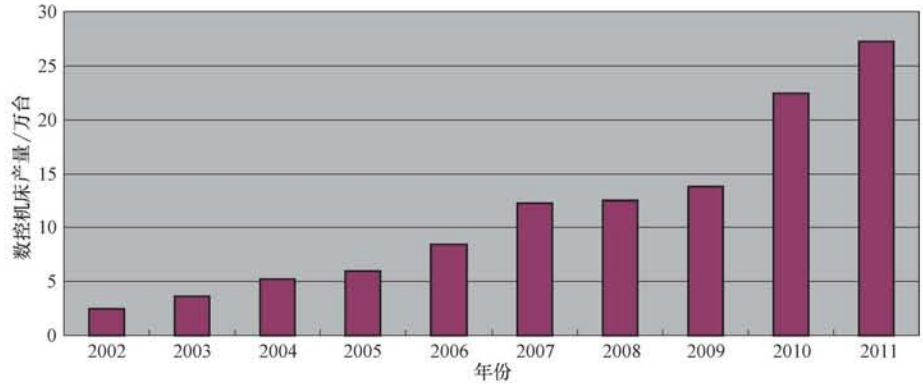


图 2-3　我国数控机床总产量（2002—2011 年）

就技术而言，总体上，新开发的国产数控机床能达到国际上20世纪90年代中后期的先进水平，有少数能达到21世纪初的国际水平。① 关键技术研究方面。到“十五”末期，我国在高端数控机床关键技术研究方面取得了重大突破。五轴联动技术、复合加工技术及装备的实际应用领域不断扩大；高速加工技术（High Speed Machine，HSM）的研究与应用取得重要进展；精密和超精密加工技术的研究不断深入，如现在国内大型水利工程的大型水轮机叶片已经能够使用国产设备加工；掌握了多坐标联动技术、0.1μm当量精密数控系统、数字化仿形处理、非圆齿轮加工、数字伺服控制技术、高速主轴技术等。② 基础技术和共性技术研究方面。具有网络功能的开放式数控系统研究取得了一定成果；数控机床的可靠性增长技术研究取得较好效果，可靠性指标MTBF有明显提高；数控机床外观及工艺水平等有了长足进步；产品研发手段有较大提高，CAD、CAPP技术在国内主要机床制造企业中得到了普及，技术人员产品开发与市场结合的思想有了根本性的转变。③ 数控系统方面。发达国家对我国不仅严格封锁数控系统的核

心技术，而且禁运一些高档数控系统。因此，我国下了很大力气开发计算机数控系统并取得一些成果，为后续发展打下了良好的基础，目前数控系统中的60%能自主配套。但是高档的数控系统（含伺服驱动单元和电动机）、高精度轴承、滚珠丝杠、直线导轨、高性能刀架、高性能刀库、高性能回转工作台、高性能刀具等主要还是靠进口，而且进口额仍然保持高速增长的势头。因此，今后数控系统及关键功能部件的发展还应成为数控机床发展的重中之重。

我国市场对机床产品强劲的需求，吸引着全球机床制造企业的目光。越来越多的跨国公司来到我国市场，或期望把设备出口到我国，或在我国设立工厂从而把根扎在我国，每一个这样做的公司都或多或少地达成了他们期望的目标。更多的公司把一部分产品的生产转移到我国，这其中不乏美国、德国、日本、瑞士、西班牙、意大利等国的一些世界著名企业。但必须看到，他们投入到我国生产的机床都是以组装为主的技术含量较低的中档数控机床。

面对这种竞争的新局面，着力加快把所研制的高档数控机床转化为上市商品的步伐是当务之急，它包括三方面的主要内容：① 加强对新产品的全面试验和应用考核，消除影响机床加工精度稳定性和运行可靠性的薄弱环节。② 建立能满足高档数控机床品质要求的量产制造平台。③ 进一步提升关键功能部件和控制系统的国产化率，从而使其成为有市场竞争力的优质产品。

2.2 世界数控机床的发展趋势

为了提高机床的技术水平和扩大机床的市场占有量，各国机床制造商竞相在欧洲国际机床展览会（EMO）、美国芝加哥国际机床展览会（IMTS）、日本国际机床展览会（JIMTOF）和中国国际机床展览会（CIMT）（被称为世界四大国际机床展会）上展示其先进技术。这四大国际机床展览会充分反映了当前世界数控机床工业技术的发展趋势，彰显世界数控机床的发展潮流。

数控技术的突飞猛进和高端市场的强力增长，为数控机床的技术进步提供了加速引擎。当前世界数控机床的发展主要有以下几个趋势：

2.2.1 高精度与精度保持性

数控机床的精度要求已经不局限于静态的几何精度，受到越来越多重视的是数控机床的运动精度、热变形以及对振动的监测和补偿。第一，提高计算机数控系统控制精度。采用高速插补技术，以微小程序段实现连续进给，使计算机数控装置控制单位精细化；并采用高分辨率位置检测装置，提高位置检测精度（日本

已开发出装有 10^6 脉冲 /r 的嵌入式位置检测器的交流伺服电动机，其位置检测精度可达到 0.01μm/ 脉冲）；位置伺服系统采用前馈控制与非线性控制等方法。第二，采用误差补偿技术。除采用已有的反向间隙补偿、丝杠螺距误差补偿和刀具误差补偿等技术外，对设备的热变形误差和空间误差进行综合补偿。研究结果表明，综合误差补偿技术的应用可将加工误差减少 60% ～ 80%。第三，采用网格解码器检查和提高加工中心的运动轨迹精度，并通过仿真预测机床的加工精度，以保证机床的定位精度和重复定位精度，使其性能长期稳定，能够在不同运行条件下完成多种加工任务，并保证零件的加工质量。

机床加工精度随着时间的推移而不断提升。日本谷口纪男（Taniguchi）教授曾在 CIRP 上发表文章预测 1980 年可达到的精度水平，在此基础上笔者根据技术发展现况作了进一步延伸，得出：从 20 世纪 50 年代起至 21 世纪初的 60 年内，普通机床加工精度由 0.5mm 提升至 0.005mm，平均年增长 8%（60 年约 100 倍）。21 世纪前 10 年的精度提升量虽减至平均年增长 5%（10 年约 1.6 倍），但增长的趋势依然不变，不过增长的幅度出现差异，普通加工由于受机床运行温升和环境温度影响，故而加工精度在 5μm 后提升幅度减缓。精密加工和高精密加工通过机床制造精度精化，并应用各种误差措施以及对环境温度恒温控制等技术。故而加工精度提升趋势优于普通加工。超精密加工则由于新的加工技术不断发展，如复合精整加工技术、光刻技术和微纳制造技术等微细加工技术的应用，使其仍保持较快发展趋势。加工精度增长态势如图 2–4 所示。

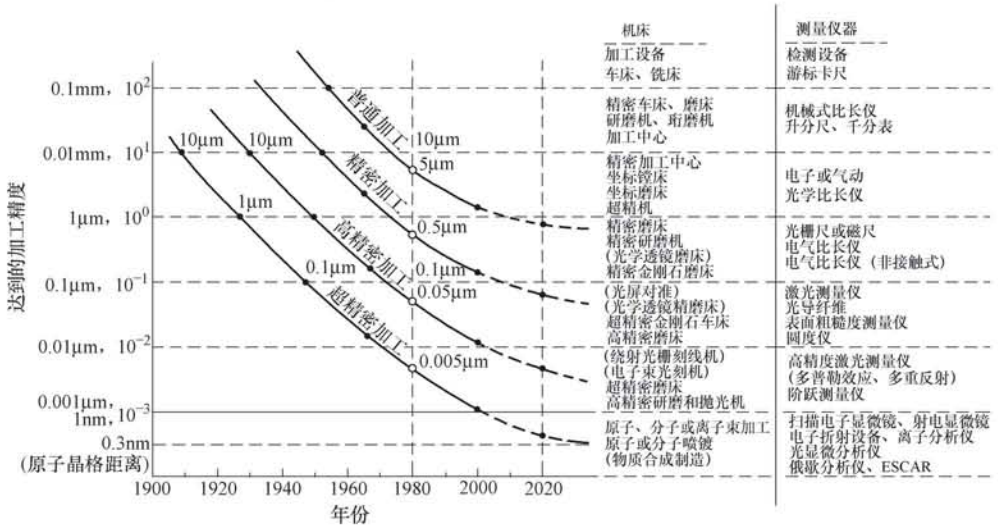


图 2–4　加工精度增长态势

精度保持性主要体现在两方面：① 精益制造，6σ 质量控制；② 精度储备。精度保持性方面，国外中小型数控机床可保持 8 ～ 10 年，大型数控机床可保持 15 ～ 20 年；国内中小型数控机床可保持 5 ～ 6 年，大型数控机床可保持 8 ～ 10 年。但是在载荷较大且运行频繁条件下，则国内中小型数控机床精度保持性约在 3 年左右。

2.2.2 高速与高效

随着汽车、国防、航空、航天等工业中轻合金材料的应用，高速加工已成为制造技术的重要发展趋势，并且对数控加工的高速化要求越来越高。① 高的切削（磨削）速度。主轴的最高转速取决于轴承类型、轴承中径 d_m、润滑条件等。高速陶瓷球轴承的 $d_m n \approx 4\times10^6$mm·(r/min)，因此用球头立铣刀精加工模具型面时的最高转速达 60 000r/min，可实现细、薄、精铣，获得光滑的型面。通常当主轴转速≥ 60 000r/min 时，采用气浮轴承，如用于刀具直径 <1mm IT 和光电等表面微细刻痕的加工。特殊微细加工时的主轴最高转速可达 200 000r/min。② 高的进给速度，可以保证即使在精细进给率时，仍有高的精加工切削效率。③ 高的数控系统指令运算和指令执行速度，可以保证精密表面或复杂型面的光顺加工。运算速度的极大提高，使得系统分辨力为 0.1μm 甚至 0.01μm 时仍能获得高达 24 ～ 240m/min 的进给速度。④ 高的换刀速度。目前国外先进加工中心的刀具交换时间普遍在 1s 左右，最高可达 0.5s。德国 Chiron 公司将刀库设计成篮子样式，以主轴为中心，刀具在圆周布置，其刀到刀的换刀时间仅 0.9s。日本 SODIC 公司生产的 MC450 立式加工中心机械凸轮结构的快速换刀装置，刀到刀换刀时间只有 0.6s。主轴速度、进给速度、运算速度以及换刀速度的提高，大大地提高了加工效率。

数控机床的高速化发展，不但可以大幅度提高加工效率，降低加工成本，还可以提高零件的表面加工质量和精度。机床向高速化发展，可充分发挥现代刀具材料的性能。

超高速切削机理、超硬耐磨长寿命刀具材料和磨料磨具、大功率高速电主轴、高加 / 减速度直线电动机驱动进给部件以及高性能控制系统和防护装置等一系列关键技术的解决，为开发、应用新一代高速、高效数控机床提供了技术基础。

为了实现数控系统的高速、高效，高档数控系统纷纷采用前置反馈、前馈控制、跃度平稳控制和高响应矢量滤波抑振（HRV）控制技术。例如 FANUC 公司的 30i/31i/32i 系统和 0i MD 系统、三菱公司的 M700V 系统、西门子公司的 828D 都具备相应功能，用以抑制因高速运动所引起的跟踪误差和系统振动等不良后果。

此外，在提高数控机床的效率方面有如下进展：

1）随着计算机应用技术的发展，CAD/CAPP/CAM 集成的全自动编程系统（UG、Pro-e、CATIAS 等）实现了根据 CAD 绘制的加工图样建模，并自动给出加工工艺和零件数控加工程序，所要用到的加工工艺参数可以直接从系统内的 CAPP 数据库提取。该系统的另一个优势是，编程人员可利用 DNC 的通信建立与所有机床的联系，可远程输入和修改加工程序。

2）复合加工（完全加工）。在一台机床上尽可能完成一个零件全部加工工序的机床越来越多地推向市场。例如日本森精机生产的车削中心，除两端的旋转卡盘轴、中间的盘形动力刀塔外，其正上方还有可上下前后移动并可回转摆动的立铣头，可完成车、铣、磨等不同工艺，并且具有多轴联动，以完成不同方位和角度的加工，实现了把多种加工方法和工序用集合方式组成复合加工，可以最大限度地消除工序转换所产生的半成品待料时间，缩短零件加工周期。常见的五轴联动加工中心的五轴，是在 U 形轴上加一个回转轴，具有高效率、高精度的特点。

3）批量生产中和专用机床上越来越多地应用复合刀具和非标整体成形刀具。传统的单刀加工方法虽然具有较高的柔性，但对于工序相对稳定的批量生产而言，既增加了刀库的负担，又由于频繁地换刀而增加了许多辅助时间，加工效率大打折扣。将钻、车、镗、攻螺纹、扩、铰等工艺集合在一起，大大提高了设备的使用效率。由于一次加工便得到所需要的几何加工形状，同时减少了工件装卸、更换和调整刀具的辅助时间以及在此过程中产生的误差，加工效率和加工精度大大提高。

2.2.3 高可靠性

数控机床的高可靠性已经成为数控机床制造商追求的目标。

数控机床的机电一体化结构要求其配置多样化的功能部件及众多的元器件，导致数控机床潜在的功能失效的因素增加，因此，数控机床的可靠性成为衡量其品质和设计制造水平的一个重要指标。国外一些先进机床制造企业和研究单位一直都在致力于机床可靠性设计理论和方法的研究，他们发展数控机床失效模式与薄弱环节的分析技术，制订可靠性分配的设计准则以及消减早期故障的精益制造规范；对新产品样机实施严格的测评考核；对数控系统采用更高集成度的电路芯片，利用大规模或超大规模的专用及混合式集成电路，以减少元器件的数量，提高数控机床的可靠性；通过硬件功能软件化，适应各种控制功能的要求；对机床本体硬件结构和配套件，本着简约的原则进行配置，模块化、标准化、通用化和系列化的采用既提高硬件批量生产能力，又便于组织生产和质量把关。这些措施

使数控机床的可靠性（以平均无故障时间 MBTF 计）由 20 世纪 90 年代的 800h 增至 2 500h 及以上，数控系统可靠性达 30 000 ～ 40 000h，自动换刀装置可靠性达 200 万次换刀无故障。

2.2.4 复合化与柔性化

在数控机床出现之前，批量生产通常采用工序分散的工艺流程来获得高生产效率。数控机床出现之后，其具备精确的定位系统和轨迹运动、柔性编程自动控制、工序集中的复合工艺，因此减少了零件加工过程中的工件搬运、上下料、安装调整、换刀和主轴的升降速等环节耗费的大量时间及多次安装引起的安装误差，提高了生产率，加工精度更稳定。此外，具有自动换刀装置和一定复合加工能力的各类加工中心，能在同一台机床上同时完成铣削、镗削、钻削、车削、铰孔、扩孔、攻螺纹等多种工序。现代数控机床还采用了多主轴、多面体切削，即同时对一个零件的不同部位进行不同方式的切削加工。同时，多功能机器人也得到广泛应用。作为数控系统的一个重要应用领域，机器人技术和产品近年来得到了快速发展，不仅用于搬运、焊接等独立工位，而且进入机床上下料、换刀、测量等工位，大大提高了数控机床的工作效率。

数控机床是柔性自动化的核心制造装备，适应多品种变批量的生产。根据工艺流程，通过网络信息集成多台不同功能的数控机床，可组成高生产率的柔性生产线或柔性加工单元，如配置上、下料机器人，物料贮存单元和在线检测装置等，可进一步提高柔性自动化的程度。机器人有效地提高了柔性化组合效率，因此它与主机的柔性化组合也得到广泛应用，使得柔性生产线更加灵活，功能进一步扩展，效率更高。机器人与加工中心、车铣复合机床、磨床、齿轮加工机床、工具磨床、电加工机床、锯床、冲压机床、激光加工机床、水切割机床等组成多种形式的柔性单元和柔性生产线。数控机床向柔性自动化系统发展的趋势是：从点（数控单机、加工中心和数控复合加工机床）、线（FMC、FMS、FTL、FML）向面（工段车间独立制造岛、FA）、体（CIMS、分布式网络集成制造系统）的方向发展。其重点是加强单元技术的开拓力度并不断完善，易于联网和集成。发展可重构技术在复合机床上的应用将能扩大复合机床在批量生产条件下应用的经济性。

2.2.5 智能化

智能化是 21 世纪制造技术发展的一个大方向。要想提高数控机床的生产效率及精密加工的稳定性，必须提高其智能化，包括自适应控制、工艺参数的自动生成、误差补偿智能控制、复杂曲面动轨迹优化控制、故障自诊断和智能维护

等。在给定工件后，按照工艺流程，数控机床自动选择参数，自动编制加工程序，优化工序，以最短的时间达到最佳的加工质量，从而提高加工效率。智能数控机床的特殊功能有：① 自动抑制振动的功能；② 自动测量和自动补偿功能；③ 自动防止刀具和工件碰撞的功能；④ 自动补充润滑油和抑制噪声的功能；⑤ 数控系统具有特殊的人机对话功能；⑥ 故障远程诊断功能。

1. 智能化技术的内容：

（1）加工过程自适应控制技术　通过监测加工过程中的切削力、主轴和进给电动机的功率、电流、电压等信息，利用传统的或现代的算法进行识别，以辨识出刀具的受力、磨损、破损状态及机床加工的稳定性状态，并根据这些状态实时调整加工参数（主轴转速、进给速度）和加工指令，使设备处于最佳运行状态，以提高加工精度、降低加工表面粗糙度并提高设备运行的安全性。

（2）加工参数的智能优化与选择　将工艺专家或技师的经验、零件加工的一般与特殊规律，用现代智能方法，构造基于专家系统或基于模型的“加工参数的智能优化与选择器”，利用它获得优化的加工参数，从而达到提高编程效率和加工工艺水平、缩短生产准备时间的目的。

（3）智能化故障自诊断与自修复技术　根据已有的故障信息，应用现代智能方法实现故障的快速、准确判断。

（4）智能化交流伺服驱动装置　自动识别负载，并自动调整参数的智能化伺服系统，可使驱动系统获得最佳运行效能，它包括智能主轴交流驱动装置和智能化进给伺服装置。

（5）智能 4M 数控系统　在制造过程中，将测量（Measurement）、建模（Modeling）、加工（Manufacturing）、机器操作（Manipulator）四者（即 4M）融合在一个系统中，实现信息共享。

智能化技术提升了数控机床的功能和品质，使数控机床智能化的发展前景非常广阔。它是世界制造技术进一步提高效率，实现自动化、智能化、网络化、集成化目标的重要手段，也是数控机床技术向更高阶段发展的努力方向。预计在 21 世纪前半期，有可能在现有机床技术上实现单台机床的自适应控制，并逐步应用于制造系统；在后半期，有可能建立不同程度智能化技术水平的计算机集成制造（Computer Integrated Manufacturing，CIM）、计算机集成制造系统（Compute Integrated Manufacturing System，CIMS）。

2. 数控机床智能化的发展层次

智能化技术实质是对数控技术的提升，数控机床人工智能化的发展可分为如下五个层次，目前前三个层次已在部分产品上有不同程度的应用。

（1）监视信息，决策判断　如生产计划、运行决策和调度、物料管理、远程诊断等。

（2）约束控制　根据预定约束指标或条件进行控制，包括：运动特征参数约束控制以及运动状态、振动、温升控制。

（3）误差动态综合补偿　如弹性变形和热变形补偿。

（4）加工过程自适应控制　包括约束式自适应控制（Adaptive Control for Constraint，ACC）、最佳自适应控制（Adaptive Control for Optimization，ACO）。

（5）自主联想型智能控制　包括：① 单因子约束式智能控制→过程综合因素优化智能控制；② 管理信息和技术信息离线智能化→过程实时智能控制；③ 程序设定的约束式智能控制→自主联想型智能控制。

2.2.6　五轴联动加工技术

多功能、轻量化、整体结构和外观光顺等需求，以及复合加工的发展，使五轴联动 / 五面加工的应用日益普遍。五轴联动加工技术具有以下特点：

1）机床结构布局的多样化。

2）（叶片、叶轮、模具）型面光顺化，减少后续电加工和抛光的工时。

3）专用编程软件开发，如日本牧野公司用于模具精铣的 FF 加工方法编程软件。

4）五轴联动刀尖位置补偿技术和回转运动功能部件精度的提高，使复杂型面加工精度在近 10 年内由道级（0.01mm 级）提高至微米级。

2.2.7　直接驱动技术的广泛应用

直接驱动的特点是响应速度快，且无机械传动环节，运动比较平稳，结构简单，适用于：① 驱动速度≥ 100m/min；② 精密加工、切削力较小的机床；③ 结构紧凑的场合。例如日本山崎马扎克公司的双摆铣头，主轴功率达 30kW，转矩为 1840N · m；三井精机（Mitsui Seiki）公司的双向回转工作台，用于直升机叶片加工，台面直径达 2 000mm，台面高度为 1 200mm，转矩为 1 700N · m。大功率、大转矩的直接驱动电动机已在数控机床上成功地应用。近年来，直线电动机的应用日益广泛。虽然其价格高于传统的伺服系统，且在同样推力（转矩）下，所消

耗的电能远大于丝杠传动，但由于负载变化扰动、热变形补偿、隔磁和防护等关键技术的应用，机械传动结构得到简化，提高了机床的动态性能。西门子公司生产的 1FN1 系列三相交流永磁式同步直线电动机已开始广泛应用于高速铣床、加工中心、磨床、并联机床以及动态性能和运动精度要求高的数控机床等。

2.2.8 数控系统开放化、网络化

数控系统向高速化、纳米级运算、五轴联动方向发展，体系开放，接口标准，具有故障诊断、适配而可靠的交流伺服驱动单元及相应的伺服电动机、误差智能补偿单元模块、工艺数据库、典型五轴联动加工、CAM 软件等，其软硬件接口都遵循公认的标准协议，只需少量的重新设计和调整。此外，有些数控系统向特殊要求的用户开放，允许用户二次开发。

例如，日本山崎马扎克公司推出新一代的加工中心，它配备了一个称为信息塔（e–Tower）的外部设备，包括计算机、手机、机外和机内摄像头等，能够实现语音、图形、视像和文本的通信故障报警显示、在线帮助排除故障等功能，是独立的、自主管理的制造单元。

2.2.9 新型功能部件

为了提高数控机床各方面的性能，具有高精度和高可靠性的新型功能部件的应用成为必然。具有代表性的新型功能部件包括：

（1）高频电主轴　高频电主轴是高频电动机与主轴部件的集成，具有体积小、转速高、可无级调速等一系列优点，在各种新型数控机床中已经获得广泛应用。

（2）电滚珠丝杠　电滚珠丝杠是伺服电动机与滚珠丝杠的集成，可以大大简化数控机床的结构，具有传动环节少、结构紧凑等一系列优点。

2.2.10 绿色机床

绿色环保设计是一种综合考虑了产品设计、制造、使用和回收等整个生命周期的环境特性和资源效率的先进设计理论和方法。它在不牺牲产品功能、质量和成本的前提下，系统考虑产品开发、制造及其活动对环境的影响，从而使得产品在整个生命周期中对环境的负面影响最小，资源利用率最高。

机床绿色环保的干切削或半干切削技术，已经得到了较快发展，在欧洲 10% ～ 15% 的加工采用了干切削或半干切削技术。对于汽车生产线等切削载荷较大的场合，切削液具有较好的冷却切削区和冲刷切屑的作用。德国 KROB 公

司的 ECO 切削液循环系统通过增加清除液膜破裂排出的油滴和补充乳化剂来提高切削液使用寿命，并添置切屑挤压成块和排清残液的装置，虽不能达到绿色环保，但可最大限度地减少对环境的污染。

绿色和环保机床的核心是：高能效、节约资源、减少机床制造和应用时对环境的污染。

绿色机床关注数控机床与环境和人的关系，强调节能减排，确保在大幅度提高机床生产效率的同时降低生产系统对环境的影响以及对操作者健康的危害。因此，绿色机床具有以下几大特点：

1）机床主要零部件由再生材料制造。

2）机床的重量和体积大幅度减少。

3）通过减轻移动质量、降低空运转功率等措施使功率消耗减少 30% ～ 40%。

4）使用过程中产生的各种废弃物减少 50% ～ 60%，保证基本没有污染工作环境。

5）报废后机床的材料 100% 可回收。

据统计，目前机床使用过程中用于切除金属的功率只占到 25% 左右，各种损耗和辅助功能占去大部分。机床绿色化的第一个措施是通过大幅度降低机床重量和减少所需的驱动功率来构建具有生态效益的机床。传统的机床设计理念是“只有足够的刚度才能保证加工精度，提高刚度就必须增加机床重量”。因此，现有机床重量的 80% 用于保证机床的刚度，而只有 20% 的重量用于满足机床运动学的需要。绿色机床就是要在保证机床刚度的前提下大幅度减少机床移动部件的重量，达到省材、节能的目的。实现的途径主要有三个方面：通过结构优化或者采用新结构实现轻量化；采用新材料或复合材料来实现轻量化；采用自适应补偿技术提高机床的精度。

2.3 我国数控机床的发展现状

机床产业是富国强民、经济发展的基础，装备制造业发展的重中之重。《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》将“高档数控机床与基础制造装备”确定为 16 个科技重大专项之一。在国家相关计划的支持下，我国在数控机床关键技术研究方面有了较大突破，开发了一批具有自主知识产权的研究成果和核心技术。

自 2008 年下半年以来，受国际金融危机影响，德国、日本、美国等传统机床强国的机床产业严重萎缩，国际排名前十位的机床制造商的销售收入均下滑 20% 以上，个别企业甚至下降 60%；我国机床产业也受到较大影响，市场需求萎缩使得机床出口销路不畅，尤其是中低端机床受影响最大，下降幅度达 30%。但是就整个机床行业来说，我国数控机床行业的发展还是相当可观的。

然而，我国机床行业近几年快速发展导致的轻创新、重产能的矛盾也逐渐显现出来：我国在高端机床生产和研发上由于起步较晚而落后于发达国家，原创产品严重缺乏，导致竞争能力不足，无法与欧美日企业抗衡；而中低端机床门槛过低，导致产能过剩而陷入惨烈的市场竞争，企业效益下滑而无力投入产品研发，从而形成恶性循环。

下面对我国数控机床发展和市场情况进行分析。

1. 数控机床消费持续高速增长

发达国家的机床工业实质上就是数控机床工业。我国改革开放三十多年来，特别是进入 21 世纪以来，数控机床的产品品种、技术水平、产品质量与产量都取得了较大发展。据行业统计，我国可供市场选用的数控机床品种由 2000 年的 1500 多种迅速提升到近年的 2500 多种。国产机床在国内市场占有率快速提升，金属切削机床产值数控化率从 2001 年的 32.5% 提高到 2008 年的 54.9%。表 2–5 列出了 2001—2011 年金属切削机床（含数控机床及加工中心）产量、产值增长数据。2008 年，我国机床产量世界第一，产值为世界第三，国内机床消费额（约为产值 – 出口金额 + 进口金额）及进口额为世界第一，国产机床出口额排名由 2007 年世界的第八位提升到 2008 年的第六位。至 2009 年，我国连续 8 年为世界机床第一大消费国和第一进口国，首次成为世界机床第一大生产国。目前，我国已初步建立门类较全、品种较完善的机床行业体系，基本满足国民经济各部门对机床品种与产量的需求，大大提高了中高档数控机床的自给率，进口数控机床金额占我国数控机床市场消费的比例由 2000 年的 80% 降至 2009 年的 50% 以下，进口数量的占比则由 55% 降至 15% 以下。这标志着在市场需求的拉动和国家发展装备制造业的政策推动下，我国数控机床已经步入良性的自我发展期。但是，进口金额仍居高不下，其原因是一些高档（高性能）机床和特殊用途（特殊性能）的机床仍然依赖进口，这是我国机床行业亟待努力攻克的重点，也是提高机床工业整体和单个企业经济效益的方向。

1999 年，国产数控机床进入快速发展期，市场消费继续保持强劲。虽然

2008 年的国际金融危机使数控机床产量的增长在 2008—2009 年出现了波动，但 2010 年数控机床产量强劲增长 55.6%，1999—2010 年的 12 年内我国数控机床的产量平均年增长率超过 33%，我国数控机床的产量和消费量总体上始终保持快速发展态势。

表 2-5 2001—2011 年金属切削机床（含数控机床及加工中心）的产量、产值增长数据

年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006
机床工具行业产值 / 亿元	631.9	745.1	912.8	1 087.1	1 259.6	1 656.1
金属切削机床产值 / 亿元	155.87	191.95	256.26	348.10	419.60	550.62
金属切削机床产量 / 万台	19.20	23.19	33.20	38.90	45.07	56.20
其中：数控机床产量 / 台	17 521	24 803	36 813	51 861	59 639	85 756
其中：加工中心产量 / 台	479	579	806	2 687	3 378	5 839
年份	2007	2008	2009	2010	2011	
机床工具行业产值 / 亿元	2 747.0	3 304.5	3 922.5	5 536.8	6 606.5	
金属切削机床产值 / 亿元	768.70	908.55	984.80	1 306.00	1 542.90	
金属切削机床产量 / 万台	63.20	61.70	58.02	75.58	85.99	
其中：数控机床产量 / 台	126 382	122 211	143 904	223 897	257 078	
其中：加工中心产量 / 台	9 384	9 300	9 255	14 857		

2. 国内机床制造行业的发展特点

由于全球化经济形势和制造中心向我国转移的趋势更趋明显，我国经济继续保持平稳的较高增长速度，形成对数控机床的旺盛需求。在此期间出现了三个明显的特征：首先，我国数控机床产量的年平均增长率达 30% 以上；其次，进口的数控机床金额占我国数控机床消费总额的 50%左右；最后，我国数控机床的出口量受国际金融危机影响明显。从 2005 年起，我国数控机床的出口量突破 6 000 台，超过当年数控机床产量的 10%；2008 年数控机床出口量达 25 000 多台，约为当年数控机床产量的 20%；2009 年出口急剧下滑；2010 年虽然有反弹，但是

数控机床贸易逆差已由 2007 年的 40 亿美元增至 78.15 亿美元；2011 年，机床工具产品进出口逆差再创新高，达 113.9 亿美元，其中金属加工机床逆差 108.2 亿美元，占行业逆差的 95.0%。

我国数控机床历年消费量、年产量、进口量和出口量如图 2–5 和图 2–6 所示。受国际金融危机的影响，2008 年机床工业增长态势出现一些波动，消费量、年产量和进口量都略有下降，出口量虽增速减慢，但仍保持增长。至 2009 年，国际金融危机影响进一步深化，数控机床进出口数量同比下降 50% 左右，金属切削机床的年产量也约比 2007 年下降 10%，但数控机床的年产量却约增长 13%。与同期日本数控机床产值下降 68.7%、德国机床产值下降 55%、美国机床产值下降 60.4%、中国台湾机床产值约下降 48% 等相比，我国数控机床行业整体具有较强的抗风险能力。

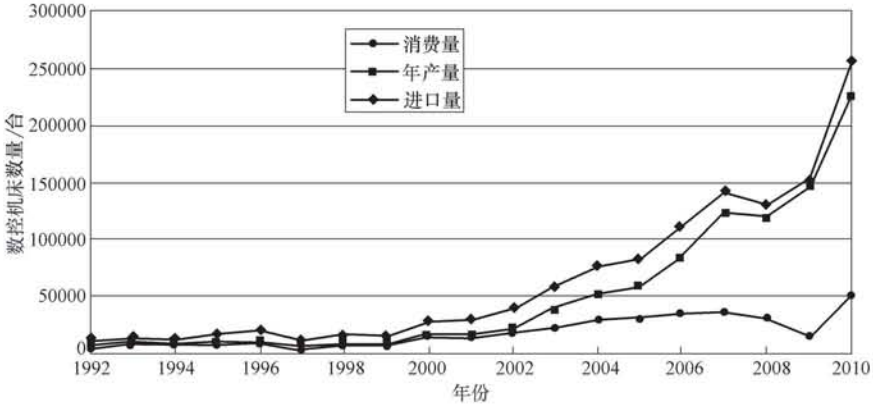


图 2–5　我国数控机床历年消费量、年产量和进口量 [17]

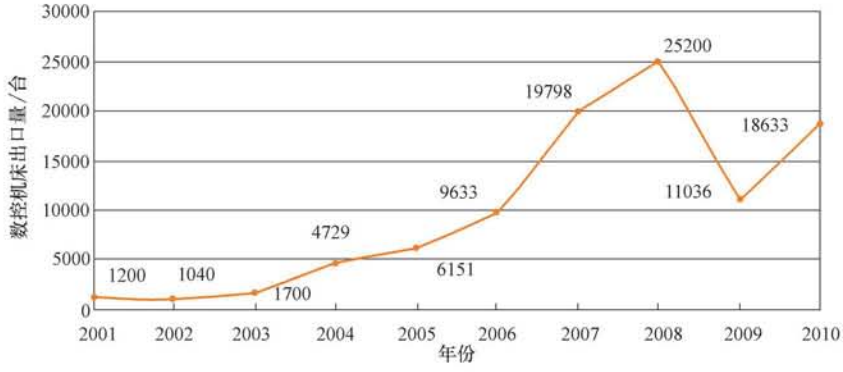


图 2–6　我国数控机床（数控金属切削和数控成形机床）历年出口量

1）先进的数控机床是提升装备制造业水平的关键设备，有强劲的消费需求。进入21世纪，国务院制定了2006—2020年中长期规划和“十一五”发展计划，对一些重点产业制定2009—2011年的调整和振兴规划。相应地，我国航天、航空、汽车、轨道列车、船舶、发电、钢铁、轻工、电子信息等工业进行结构调整和技术改造，对高性能数控机床有迫切的需求。

2001—2005年，我国累计消费的数控机床约28万台，消费金额约为207.5亿美元，其中进口的数控机床累计约12万台，消费金额约147.7亿美元。即国内进口的数控机床台数约占数控机床总台数的43%，而进口数控机床的金额约占数控机床消费金额约71.2%。从2005年起，通过采取产品结构调整等措施，机床行业连续三年出现进口数控机床消费额占比逐步下降的可喜现象。2008年，在国际金融危机大环境下，由于消费需求旺盛，我国数控机床产量总体上仍呈上升趋势。由于国外以设备投资贸易方式进口的机床占比下降，2009年，数控机床的进口数量有明显下降，但因国内一些高端制造企业对高性能数控机床的需求量增加，导致进口数控机床的平均单台价提升，2009年数控机床的消费额仅比2007年和2008年下降10%～20%（图2–7和表2–6）。2010年，虽然进口数量增加，但进口金额占比反而下降，这个现象与进口数控机床的结构变化有关。

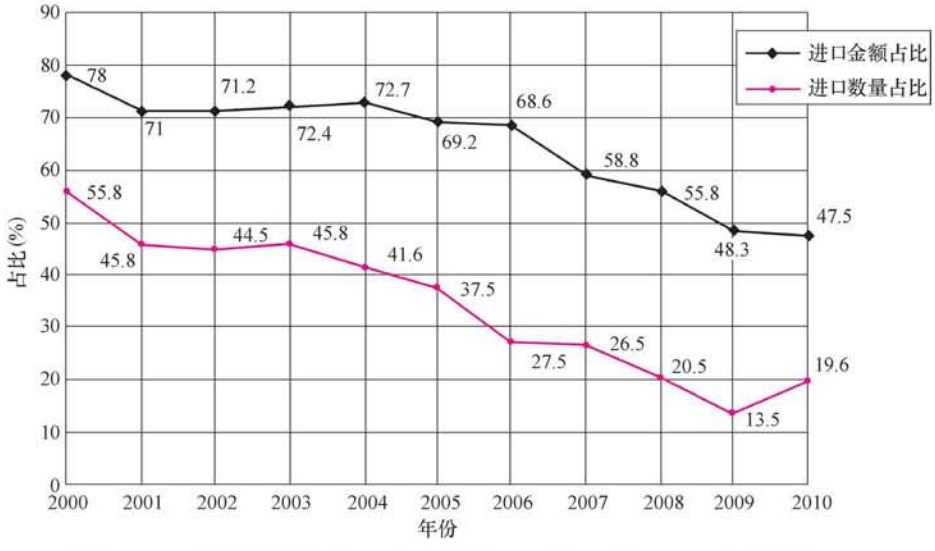


图2–7　我国历年数控机床市场消费中进口金额占比与数量占比

表 2-6　2001—2010 年数控机床总消费额与进口数控机床消费额及占比

指标	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
数控机床总消费额 / 亿美元	20	29.5	38	55	65	50.6	75.4	86.0	83.3	149.27
进口数控机床消费额 / 亿美元	14.2	21	27.5	40	45	34.7	44.3	48.0	40.2	70.97
进口金额占比（%）	71	71.2	72.4	72.7	69.2	68.6	58.8	55.8	48.3	47.5

从图 2-7 可以看出，在我国数控机床产业快速发展的形势下，进口数控机床在消费额占比和数量占比方面，总体上呈现逐渐降低趋势，尤其是数量占比从 2000 年的 55.8% 降至 2008 年的 20.5%。这说明国产数控机床的数量满足率几乎提高一倍。但在消费金额占比方面，2010 年进口数控机床消费额仍占 47.5%，其主要原因在于技术附加值高的先进数控机床的比例增高。

这也说明，我国航天、航空、汽车、船舶和轨道列车等产业发展迫切需要这些性能先进而国内目前尚无法提供的高档数控机床产品。因此，进口这些数控机床对提升上述重点产业的发展起着关键作用。

2）正确引导数控机床进出口结构调整，促进技术经济良性发展。由于国内的数控机床研发和制造技术水平与国际先进水平相比尚有差距，导致 2007 年进口数控机床的金额占数控机床总消费额的 58.8%，并在数控机床进出口贸易中出现较大的逆差（表 2-7）。

通过“十一五”启动的“高档数控机床与基础制造装备”国家科技重大专项，调整了《国内投资项目不予免税的进口商品目录》，制订了《国家支持发展的重大技术装备和产品目录》，建立了《重大技术装备和产品进口关键零部件、原材料商品清单》等一系列推进企业加强核心技术研究、积极形成自主创新能力的方针、政策和有力措施，机床制造企业的市场竞争力进一步提高。由图 2-6 可以看出，“十一五”前三年（2006—2008 年）数控机床的出口量平均年增长率达 60%，而进口机床的数量占比和金额占比也基本呈下降趋势（图 2-7）。

与世界各制造强国（除美国外）相比，我国的机床进出口贸易存在较明显的差距（表 2-7），需进一步研究改善的对策，以缩小机床进出口贸易的逆差。

表 2-7　2007 年部分国家和地区金属切削机床进出口贸易差及出口值 / 产值、进口值 / 消费值的比值

国家和地区		出口值 / 产值（%）	进口值 / 消费值（%）	出口值 – 进口值 / 亿美元
日本		52.7	10.0	68.24
德国		72.0	50.9	57.73
意大利		57.9	39.4	22.17
瑞士		73.9	32.4	20.42
美国		26.9	68.9	–25.94
韩国		40.0	33.7	40.0
中国台湾		77.8	74.0	5.93
中国	金属切削机床	15.4	43.0	–54.21
	其中数控机床	15.7	58.8	–40.19

3. 机床制造行业的国内市场分析

数控机床进口额随国内市场数控机床总消费金额逐年同步增长，除了因为国内市场对数控机床的总体需求增长外，更多的是因为国内市场对高技术附加值的数控机床需求增长，并且要依靠进口解决。因此，振兴数控机床产业是当务之急。

从 1999 年起，我国数控机床的产量一直呈现较高的增长速度，年平均增长量超过 30%，2004 年产量达 51 861 台，2005 年的增幅虽有所回落，然产量仍高达近 60 000 台，与 1980 年的 600 台相比，25 年间数控机床的产量已增至 100 倍。2007 年，数控机床产量又翻番，超过 12 万台。在国内通过扩大内需成功地应对金融危机的影响下，2010 年数控机床产量进一步增长到 22 万多台。

但是，进口数控机床的数量和消费额也在逐年同步增长，并且数控机床的进口额增长趋势更快。例如，2004 年数控机床进口数量同比增长 30%，而进口消费额增长却达到 45%，从而导致国产数控机床在国内市场数控机床消费额的占比仍不足 30%。这一情况在“十一五”振兴装备制造业政策驱动下有所好转（图 2-7），但国内市场对高技术附加值的高效精密的高档数控机床和高性能大型、重型数控机床需求还要依靠进口解决。因此，加强对数控机床核心技术的自主创新

和尽快缩小技术水平差距将是摆脱市场竞争弱势、实现振兴我国机床制造业的一项关键措施。

表 2–8 列出了数控机床市场消费结构的比例。2003—2008 年五年间，国产中高档数控机床消费量的占比从 23% 增至 32%，增长率达到了 39%；市场消费金额的占比从 23.5% 增至 26.5%，增长率超过 12%。这表明，通过“十一五”一系列规划和措施，尽管进口中高档数控机床的数量和金额仍在增长，但由于企业及时调整产品结构，国产中高档数控机床正向良性发展的趋势转变，逐步扭转“高端大部分靠进口、中档竞争形势严峻、低档量大但产值低”的格局。

表 2–8　2003 年和 2008 年数控机床市场消费结构的比例

数控机床分类	市场消费量比例（%）						市场消费金额比例（%）					
	国产		进口		各类消费量		国产		进口		各类消费量	
	2003	2008	2003	2008	2003	2008	2003	2008	2003	2008	2003	2008
高档	1	2	25	17	26	19	2.5	5.5	55	60	57.5	65.5
中档（普及型）	22	30	20	7.5	42	37.5	21	21	18	10	39	31
低档（经济型）	32	43.5	—	—	32	43.5	3.5	3.5	—	—	3.5	3.5
年度消费	55	75.5	45	24.5	100	100	27	30	73	70	100	100

注：1. 2003 年数控机床消费量，国产 35 113 台，进口 26 565 台；2008 年数控机床消费量，国产 97 011 台，进口 30 872 台。

2. 2003 年数控机床消费金额，国产 10.50 亿美元，进口 27.50 亿美元；2008 年数控机床消费金额，国产 20.13 亿美元，进口 45.64 亿美元。

3. 国产数控机床市场消费量（金额）= 国产数控机床产量（产值）– 出口量（金额）。

综上所述，我国数控机床近十年已获得很快的发展，成绩显著，在市场消费结构中，国产的中、高档数控机床所占份额有较明显的上升（表 2–8），但与国外发达国家水平相比还有不少差距，要真正成为机床生产强国，任务相当艰巨。

4. 数控机床的进口产品构成比

表 2–9 是我国近几年各类金属切削机床进口情况。表 2-10 为历年金属切削机床进口金额的同比增长情况。从表 2–9 可以看出 2008 年进口金额排前 4 位的分别为：加工中心、特种加工机床、磨床、车床。

表 2-9　2002—2008 年各类金属切削机床进口金额汇总表　（单位：亿美元）

各年度进口金额	加工中心	车床	钻、镗床	铣床	磨床	精整加工机床
2002 年	3.616 6	2.281 4	2.161 7	1.951 1	2.751 3	1.114 5
2003 年	6.324 6	3.738 5	3.097 3	2.906 8	3.245 0	1.515 7
2004 年	9.487 2	5.341 2	4.159 4	3.575 4	5.166 8	2.156 3
2005 年	12.923 5	5.632 6	3.567 0	3.027 7	6.117 7	2.456 3
2006 年	15.791 5	6.337 3	3.741 6	2.583 7	6.828 3	2.545 1
2007 年	17.250 0	7.182 3	3.627 7	3.680 0	7.093 6	2.089 2
2008 年	20.872 0	6.412 4	2.375 5	2.364 6	5.886 5	0.131 3
机床进口累计金额	86.265 4	36.925 7	22.730 2	20.089 3	37.088 3	12.008 4
金额占比（%）	29.69	12.71	7.82	6.91	12.76	4.13
按进口额排序	1	4	5	6	3	7

各年度进口金额	齿轮加工机床	插床、拉床、刨床	特种加工机床	组合机床	各年度进口额累计	
2002 年	0.422 7	1.127 8	3.922 3	0.887 8	20.237 2	
2003 年	0.857 4	1.219 5	4.597 9	0.964 7	28.467 4	
2004 年	0.992 9	1.564 0	8.613 6	1.257 6	42.314 4	
2005 年	1.203 7	1.796 8	6.954 7	1.697 8	45.377 8	
2006 年	1.302 4	1.834	11.241 3	1.468 2	53.673 4	
2007 年	1.495 6	1.600 7	7.430 7	1.091 0	52.540 8	
2008 年	2.373 7	—	6.359 4	1.199 8	47.974 3	
机床进口累计金额	8.648 4	9.142 8	49.119 9	8.566 9	290.585	
金额占比（%）	2.98	3.15	16.90	2.95	100.00	
按进口额排序	9	8	2	10		

表 2-10　2003—2008 年各类金属切削机床进口金额的历年同比增长和平均年增长率　（单位：%）

年份	加工中心	车床	钻、镗床	铣床	磨床	精整加工机床
2003 年	74.9	63	43.3	49	17.9	36
2004 年	50	42.9	34.3	23	59.2	42.3
2005 年	36.2	5.5	-14.2	-15.3	18.4	13.9
2006 年	22.2	12.5	4.9	-14.7	11.6	3.6
2007 年	9.2	13.3	-3.2	42.4	3.9	-18
2008 年	21.0	-10.7	-34.5	-35.7	-17.0	-93.7
2003—2007 年平均年增长率	36.68	25.78	10.91	13.53	20.87	13.39
2003—2008 年平均年增长率	33.93	18.80	1.58	3.26	13.51	-42.82

年份	齿轮加工机床	插床、拉床、刨床	特种加工机床	组合机床	总进口额平均年增长率	
2003 年	102.8	8.1	17.2	8.7	40.67	
2004 年	15.8	28.2	87.3	30.4	48.64	
2005 年	21.2	14.9	-19.3	35	7.24	
2006 年	8.2	2.1	61.6	-13.5	18.28	
2007 年	14.8	-12.7	-33.9	-25.7	-2.11	
2008 年	58.71	—	-14.42	9.97	-8.69	
2003—2007 年平均年增长率	28.77	7.25	13.63	4.21	21.02	
2003—2008 年平均年增长率	33.32	—	8.39	5.15	15.47	

从表 2–10 的数据可以看出，2003—2007 年加工中心进口金额的年平均增长率超过 36%，居首位，其次分别为齿轮加工机床、车床、磨床、特种加工机床、铣床，精整加工机床也保持较快的增长。这表明市场对高效、精密机床有旺盛的需求。齿轮加工机床虽然需求的总量不多，但由于近年汽车、电力机车和风力发电等对高速高精齿轮传动和变速的需要，其进口剧增。组合机床虽具有很高的加工效率，但由于它不具备适应多品种生产的柔性，不能满足用户对多样化产品的需求，应用范围受到限制，因此增长率最低。插床和刨床大多数已被加工效率高的铣床所取代；拉床效率虽然很高，但使用的刀具复杂且应用面不广，故它们的进口额和增长率均不高。值得注意的是，近年来，国际上一些特种加工机床主要制造商相继在我国建立独资企业，占领高端特种加工机床市场的主要份额，致使有几年特种加工机床的主要进口额平均增长率出现负数，详见表 2–10 数据。

5. 后金融危机的数控机床市场特点

随着金融危机在全球范围内的影响不断蔓延，2008 年我国机床工具内销和出口均出现先扬后抑的局面，上半年基本保持稳定增长，从下半年开始进入下行通道，第四季度后增速下滑尤为显著，企业利润增速首次下降，并在第四季度出现负增长，但总体产销和盈利均保持了增长态势。市场需求的变化，促使行业产品结构不断优化，因此尽管市场滑坡，但 2008 年的产值和进出口金额仍有小幅增长。然而随着金融危机影响的深入，2009 年的机床产量和进出口数量及金额均出现明显的下降；随着金融危机的渐趋稳定，2010 年数控机床生产和进出口又恢复快速增长（表 2–11）。

1）出口的数控机床产品需求结构已有所改善。尽管面临严峻的外部环境，我国金属加工机床出口中，数控金属加工机床占比逐渐增加，低值机床占比逐渐减少，机床出口产品结构逐步优化。2008 年，我国数控机床出口金额占金属加工机床出口总额的 33.2%，占比比上年提高 3.2 个百分点。同时，台钻、锯床、抛光机和砂轮机等低值机床的出口额合计占比比上年减少 8.8%。在国家各项政策的指导下，一批技术含量较高的产品出口高速增长，如加工中心、数控镗铣床、数控磨床和数控龙门铣床出口额同比增长均在 70%以上，改变了以中低档数控车床为主的出口格局。近年来，企业重视开发创新高附加值产品，提高出口产品的质量和档次，一些重要产品平均价格有所提高，如龙门式加工中心、数控镗床、数控龙门铣床、数控齿轮加工机床、数控剪切机床平均价格同比增长分别为 91.9%、

44.5%、253.7%、49.9%、87.9%。由表 2–11 列出的 2007—2010 年我国数控金属切削机床的生产与出口数据可以得出：数控金属切削机床平均单台售价由 2007 年 2.8 万美元提升至 2009 年 3.2 万美元、2010 年 3.7 万美元，而平均单台出口价则由 2007 年 2.1 万美元，提升至 2009 年 3 万美元、2010 年 2.9 万美元，增长约 40%。这表明机床行业在优化出口产品的品种和结构方面迈出了坚实的步伐。

2）进口的数控机床产品需求结构仍受全球经济动荡的影响。加工中心由于适用面广，且具柔性和高效的特点，故需求量较多，而且高性能加工中心的研制和生产存在技术难度，尤其在高速精密和多轴联动方面国内与国外的技术差距较大，因而成为进口数控机床中的主要品种。通过近几年努力，加工中心的产量和出口量均有提高，国产加工中心的市场满足度已由 2001 年的 15% 增至 2008 年的近 40%。

国产加工中心的产量逐年快速增长，使加工中心消费量中进口的比例由 2001 年的 84.8% 降至 2008 年的 60.6%。出口的加工中心除数量增长外，其出口平均单价从 2003 年的 4.1 万美元增至 2007 年的 7 万美元，2008 年、2009 年增至 8.6 万美元（图 2–8），与 2003 年出口单价相比增幅逾 1 倍，说明出口加工中心的品质在提升。2001—2010 年我国加工中心生产、进出口及消费情况如表 2-12 所示。

表 2–11　2007—2010 年我国金属切削机床与数控金属切削机床等消费量及消费金额的组成分析

产品类别	指 标	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年
金属切削机床	产量 / 台	632 000	617 306	580 200	755 779
	产值 / 亿美元	74.46	84.61	93.25	159.27
	出口量 / 台	503 304	481 200	394 200	502 289
	出口金额 / 亿美元	8.17	9.71	6.36	12.84
	进口量 / 台	62 463	31 194	19 476	50 713
	进口金额 / 亿美元	52.1	56.75	45.59	72.64
	消费量 / 台	191 159	166 672	205 476	304 203
	消费金额 / 亿美元	118.39	131.66	132.48	219.07
	国产产品消费量 / 台	128 696	135 800	186 000	253 490
	国产产品消费金额 / 亿美元	66.29	74.9	86.89	146.43

（续）

产品类别	指 标	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年
数控金属切削机床	产量 / 台	126 382	122 211	143 904	223 897
	产值 / 亿美元	35.24	43.48	46.35	83.62
	出口量 / 台	19 798	25 200	11 036	18 633
	出口金额 / 亿美元	4.12	5.47	3.3	5.32
	进口量 / 台	38 262	30 872	19 320	50 132
	进口金额 / 亿美元	44.31	47.97	40.2	70.97
数控金属切削机床	消费量 / 台	144 846	127 883	152 188	255 378
	消费金额 / 亿美元	75.43	85.98	83.25	149.27
	国产产品消费量 / 台	106 584	97 011	132 868	205 264
	国产产品消费金额 / 亿美元	31.12	38.01	43.05	78.3
加工中心	产量 / 台	9 384	9 300	10 950	14 857
	产值 / 亿美元	7.51	7.81	9.2	12.48
	出口量 / 台	744	323	636	1072
	出口金额 / 亿美元	0.52	0.28	0.55	0.62
	进口量 / 台	13 849	13 823	8 820	30 637
	进口金额 / 亿美元	17.25	20.87	15.59	24.07
	消费量 / 台	22 489	22 800	19 134	44 422
	消费金额 / 亿美元	24.24	28.4	24.24	45.93
	国产产品消费量 / 台	8 640	8 977	10 314	13 785
	国产产品消费金额 / 亿美元	6.99	7.53	8.65	11.86
非数控金属切削机床	产量 / 台	505 618	495 095	436 296	531 882
	产值 / 亿美元	39.22	41.13	46.9	75.65
	出口量 / 台	483 506	456 000	383 164	483 656
	出口金额 / 亿美元	4.05	4.24	3.06	7.52
	进口量 / 台	24 201	322	156	581
	进口金额 / 亿美元	6.10	0.13	0.05	1.67
	消费量 / 台	46 313	39 417	53 288	48 807
	消费金额 / 亿美元	41.27	37.02	43.89	69.80
	国产产品消费量 / 台	22 112	39 095	53 132	48 226
	国产产品消费金额 / 亿美元	35.17	36.89	43.84	68.13

注：1. 金属切削机床包括：数控金属切削机床、非数控金属切削机床和小型修配工具类机床。小型修配工具类机床有台钻、砂轮机、抛光机和锯床四类，量大价廉，如 2007 年约出口 750 万台，出口金额 4.02 亿美元，平均单台价仅为 53 美元，故未列入表中。

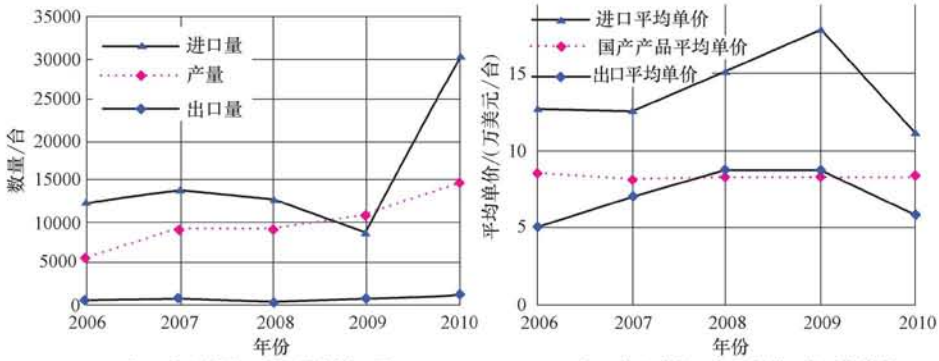
2. 表中金属切削机床含数控金属切削机床和非数控金属切削机床，数控金属切削机床栏中数据已包含加工中心的相关数据。

表 2-12　2001—2010 年我国加工中心生产、进出口及消费情况

年份	产量 / 台	出口量 / 台	进口量 / 台	消费量 / 台	进口量 / 消费量（%）
2001	479	69	2 290	2 700	84.8
2002	579	198	3 320	3 701	89.7
2003	806	120	5 132	5 818	88.2
2004	2 687	200	8 095	10 582	76.5
2005	3 378	309	10 343	13 412	77.1
2006	5 839	380	12 470	17 929	69.6
2007	9 384	744	13 849	22 489	61.6
2008	9 300	323	13 823	22 800	60.6
2009	10 950	636	8 820	19 134	46.1
2010	14 857	1 072	30 637	44 422	69.0

分析表 2-11，进口加工中心的平均单价逐步上升，2007 年、2008 年和 2009 年分别为 12.4 万美元 / 台、15.1 万美元 / 台和 17.7 万美元 / 台。这一方面反映了用户需要更先进的制造装备来优化生产结构，提升生产能力；另一方面也表明我国生产的数控机床技术水平的提高，逐步在中高档数控机床市场领域的竞争中取得份额。

受金融危机影响，2009 年全球机床工具行业陷入衰退，除我国外，世界各主要机床生产国 / 地区的机床产量和消费量均同比下降 30% ～ 50%。2009 年全年，我国机床工具行业产值同比增长超过 10%，继连续 8 年保持世界第一消费大国之后，首次为世界第一生产大国。当然，必须清醒地认识到我国机床行业大而不强的情况依然没有得到根本性改变，这可以从 2010 年我国加工中心进出口单价所反映的产品结构变化来说明（图 2-8）。



a) 加工中心产量、出口量和进口量　　b) 加工中心生产、出口和进口的平均单价

图 2-8　2006—2010 年我国加工中心生产和进出口情况

从图 2–8 中可以看出，全球金融危机明显地影响加工中心的进口数量和平均单价，且两者变化趋势呈负相关。2009 年，进口数量下降探底，而平均单价却跃至最高值。这个现象曾被误读为我国生产的中档加工中心的技术水平有了长足进步，导致进口高档加工中心的比例增加而形成的结果。但 2010 年，进口加工中心的数量剧增，而平均单价降至历史最低，说明大量性能、价格偏低的加工中心涌入国内市场。通过对数控机床的两个主要进口贸易方式（一般贸易方式进口和外商企业以投资方式进口）的分析可知，由于我国良好的市场环境，2010 年吸引外商企业投资大增，与 2009 年以新兴高端产业为主致力于进口高档数控机床不同，这些外商企业主要是扩大一般性加工能力，因此大量进口中档或者中档偏低的机床，如 2010 年进口钻削加工中心即达 6200 台以上，再次提示在数控机床的市场竞争方面尚很艰巨。

经济型数控机床是国内数控机床行业发展的起步产品，发展时间比较长，生产企业对此类机床的技术掌握情况和生产能力也都比较成熟，很多企业都能生产，而且品种丰富，其中以经济型的数控车床、钻床和铣床为主，包括部分加工中心。正因为如此，它们能适应大量初建的中小规模制造业的需求，在国内拥有较大的市场空间，在金融危机爆发之前产量较大。但从危机以后的情况来看，由于产品市场的格局有变化，国内经济型数控机床的生产能力出现明显过剩。

中国机床工具工业协会最近的调研结果显示，以经济型数控机床为主业的企业受金融危机冲击比较大，尤其是一些产品档次低、产量大的企业受到的冲击更大，部分企业甚至出现限产的现象。造成这种情况的主要原因还是生产企业比较多，竞争激烈，同时经济型车床、钻床和铣床的出口量下降，部分产品出口转内销，进一步加剧了国内市场的竞争。而对于产品档次比较高的企业来说，受到的冲击就不是很明显，特别是高、精、尖的高档机床依旧供不应求。

近年来，通过国家科技攻关（支撑）计划、“863”计划和“高档数控机床与基础制造装备”重大科技专项，重点安排了一大批高、精、尖数控机床关键技术、高档数控装备关键技术、高速高效数控加工技术、关键功能部件、数控机床与数控系统可靠性增长技术、数控加工用户工艺技术和国产数控机床应用示范工程研究等重点项目。这些项目的实施，有力地推动了国产数控机床关键技术的研究开发，提高了企业的研发能力和技术水平。

自 20 世纪 80 年代起，我国机床制造业的发展虽有起伏，但国家对数控技术和数控机床一直给予了较大的关注；90 年代后期，工业现代化、国防以及高技

术工业的快速发展，对表征先进制造装备的数控机床提出了旺盛的需求。“九五”期间，在市场需求的拉动和国家科技计划的引导与支持下，我国中高档数控机床的开发取得了较大的进展。“十五”期间，中华人民共和国科学技术部（以下简称科技部）在国家科技攻关计划和国家高技术发展计划中，投入研发资金 5.24 亿元，分别安排了高、精、尖大型数控设备研制“中档数控机床和数控系统产业化支撑技术研究”“基础共性技术的研究与应用”等面向数控技术及其装备发展的科技项目。通过项目的实施，研制开发出一批高、精、尖重大数控装备，同时在高档数控机床关键技术的研究方面取得了重大突破，已开发出五轴联动加工中心、六轴四联动高速滚齿机、七轴五联动数控弧齿锥齿轮磨齿机、数控冲剪复合柔性生产线等具有国际水平的高档数控机床新产品，并且在联动技术、复合加工技术、高速加工技术、精密和超精密加工技术的研究与应用方面都不同程度地取得较大进展。“十一五”期间，在国家重大专项的牵引下，数控机床行业不断推出具有世界先进水平的新产品，填补了数项国内空白，如世界上直径最大的 8m 数控立式车床，直径 320mm 的数控落地铣镗床，龙门跨度 10m 的五轴联动数控桥式龙门车铣复合机床，龙门跨度 9m 的数控桥式双龙门镗铣床，加工直径 5m、承重 500t 的重型数控卧式车床，深度 1m 的数控管板深孔钻床，一次装夹完成最大直径 8m 螺旋桨的七轴五联动数控加工机床，曲轴和轴拐加工的专用大型数控车床和切点跟踪随动数控磨床，加工直径 2.2m 的数控轧辊磨床，重型铣车复合加工中心等。这些新产品的出现为航空、航天、船舶、电力、国防、交通等重点用户提供所需的技术装备，提高了我国数控机床的竞争力。

现今，我国不仅是世界机床的生产大国，而且还是世界最大的机床消费国，但总体上看，我国在高档数控机床领域与先进国家相比还存在较大差距。

目前，我国数控金属切削机床市场上高、中、低档机床消费比重，在消费数量上约为 5 ： 50 ： 45，在消费额上约为 15 ： 70 ： 15。可以说，国内对高、中档数控机床的需求无论在消费量还是消费额方面都已超过了低档机床。然而，大重型、高性能数控机床及超精密数控机床等国内的年产量不足千台，不及德国、日本等国家同类产品产量的 1/20，尚未真正形成较大的产业化规模，而且在加工精度、刚度、速度等技术指标方面的差距较为明显。虽然通过不懈努力，我国在高性能多轴联动加工中心、大重型数控机床及超精密数控机床等方面已经取得了突破，但高档数控机床的总体水平明显落后于发达国家，尤其在开发周期、性能、可靠性等方面与国外同类产品的差距较大，主要表现在以下方面：

1）高档数控机床的数字化设计技术、动态综合补偿技术、可靠性设计与性能实验、高速超高速磨削工艺、多轴联动的高速切削工艺等方面的技术尚未完全实现突破。

2）高档数控机床全数字数控系统、全数字交流伺服电动机、主轴电动机及驱动装置等一些核心关键技术尚未得到解决，数控机床关键功能部件在性能、配套能力、可靠性等方面不能满足主机配套需要。

3）高速、高刚度、大功率电主轴及其伺服单元，直线电动机、力矩电动机及伺服控制器，高速防护装置，刀具库及机械手，全功能数控刀架，数控回转工作台等的性能、可靠性显著低于发达国家常规产品水平。

4）高精密车、铣数控机床及加工中心，高精度多轴及其联动数控机床，高精度数控磨床，数控齿轮加工机床，重型、超重型数控机床，高精度电加工机床的性能、功能明显较发达国家同类产品差。

受我国机床市场发展的吸引，2003 年德国吉特迈集团、日本牧野铣床、日本丰田工机、意大利利稚路集团、德国贺尔碧格集团以及韩国大宇机床等外国厂商纷纷落户我国；2004 年，美国哈挺、美国 AMT、美国风腾机械集团、韩国起亚株式会社、德国斯来福临集团等国外机床制造厂商也大举进入我国市场。虽然我国通过与国外数控机床厂商合资，提高了数控机床的设计制造水平，加速了我国数控机床市场进一步国际化，但也导致国外厂商基本垄断了我国高档数控机床系统的市场，使我国高档数控机床的关键核心技术发展受到严重的制约。尽管在“十一五”期间，我国数控机床行业突破了大量技术难关，取得了许多具有自主知识产权的重大科研成果。但仍能清楚地看到，我国数控机床行业与国际先进水平还存在着不小的差距。

在加工机床方面，尽管近年来数控机床发展较快，但在加工效率、精度保持性、平均无故障运行时间（Mean Time Between Failures，MTBF）和技术配套性等方面还不能满足高端用户的需求，并且动力刀塔、电主轴、进给系统、电气控制等关键功能部件绝大部分依赖进口。

在数控系统方面，我国无论是在技术还是在产品方面与国际先进水平都存在很大的差距。在技术性能方面主要表现在现场总线、高速高精插补技术、运动控制技术、复合加工技术、智能化检测与控制技术、加工工艺及多轴编程技术等；在产品方面的差距主要表现在可靠性设计及生产管理、产品的系列化等方面上。

由此可以看出，国产数控机床特别是中高档数控机床仍然缺乏市场竞争力，

究其原因主要在于国产数控机床的研究开发深度不够、制造水平依然落后、服务意识与能力欠缺、数控系统生产应用推广不力及数控人才缺乏等。因此，应充分认识国产数控机床的不足，努力发展先进技术，加大技术创新与培训服务力度，以缩短与发达国家之间的差距。

1）不断加强技术创新是提高国产数控机床水平的关键。国产数控机床缺乏核心技术，从高性能数控系统到关键功能部件基本都依赖进口，即使近几年有些国内制造商艰难地创出了自己的品牌，但其产品的功能、性能的可靠性仍然与国外产品有一定的差距。近几年国产数控机床制造商通过技术引进、海内外并购重组以及国外采购等获得了一些先进数控技术，但缺乏对机床结构与精度、可靠性、人性化设计、用户工艺等基础性技术的研究，忽视了自主开发能力的培育，国产数控机床同样难以得到大多数用户的认可。

2）加速改变制造水平与管理手段依然落后的现状。一些国产数控机床制造商对整体工艺与制造水平的提高重视不够，加工手段基本以普通机床与低效刀具为主，装配调试完全靠手工，加工质量在生产进度的紧逼下不能得到稳定与提高。另外，很多国产数控机床制造商的生产管理依然沿用原始的手工台账管理方式，工艺水平和管理效率低下，使得企业无法形成足够生产规模。例如，国外机床制造商能做到每周装调出产品，而国内的生产周期过长且很难控制。因此，在引进技术的同时应注意加强自身工艺技术改造和管理水平的提升。

3）提升服务水平和能力促进国产数控机床占有率的提高。服务水平与能力欠缺也是影响国产数控机床市场占有率的一个重要因素。由于数控机床产业发展迅速，一部分企业不顾长远利益，对提高自身的综合服务水平不够重视，甚至对服务缺乏真正的理解，只注重推销而不注重售前与售后服务。有些企业派出的人员对生产的数控机床缺乏足够了解，不会使用或使用不好数控机床，更不能指导用户使用好机床；有的对先进、高效的刀具缺乏基本了解，不能提供较好的工艺解决方案，用户自然对制造商缺乏信心。制造商的服务应从研究用户的加工产品、工艺、生产类型、质量要求入手，帮助用户进行设备选型，推荐先进工艺与工辅具，配备专业的培训人员，帮助用户发挥机床的最大效益，加工出高质量的产品，这样才能逐步得到用户的认同，提高国产数控机床的市场占有率。

4）加大数控专业人才的培养力度。从我国数控机床的发展来看，需要三种层次的数控技术人才：第一种是熟悉数控机床的操作及加工工艺，懂得简单的机床维护，能够进行手工或自动编程的车间技术操作人员。第二种是熟悉数控机床

机械结构及数控系统软硬件知识的中级人才，掌握复杂模具的设计和制造知识，能够熟练应用 UG、Pro-e、CAD/CAM 等软件，同时有扎实的专业理论知识、较高的英语水平，并积累大量的实践经验。第三种是精通数控机床结构设计以及数控系统电气设计、能够进行数控机床产品开发及技术创新的数控技术高级人才。应根据需要有目标地加大人才培养力度，为我国的数控机床产业提供强大的技术人才支撑。

我国作为一个制造大国，主要还是依靠劳动力、价格、资源等方面的优势，而在产品的技术创新与自主开发方面与国外同行的差距还很大。数控机床的发展日新月异，高速化、高精度化、复合化、智能化、开放化、并联驱动化、网络化、极端化、绿色化已成为数控机床发展的趋势和方向。我国的数控产业不能安于现状，应该努力发展自己的先进技术，加大技术创新与人才培训力度，提高企业综合服务能力，努力缩短与发达国家之间的差距，力争早日实现数控机床产品从低端到高端、从初级产品加工到高精尖产品制造的转变，实现从中国制造到中国创造、从制造大国到制造强国的转变。

第 2 篇

国内外数控机床产业差距及实现跨越发展的措施

第 3 章　国内外数控机床产业发展比较

我国的数控机床产业已经有了很大的发展和进步，但同时也应该清楚地认识到，相对于发达国家，我国的高新数控机床技术还存在较大差距。本章通过对国内外数控机床的技术水平、发展模式和政策环境三个方面的比较，总结我国数控机床发展的不足之处，吸取国外数控机床发展的有益经验。

3.1　技术水平比较

3.1.1　我国数控机床技术发展现状

（1）国内产品市场占有率提高　从一定程度上讲，国外数控机床产品在国内数控机床市场占据很大份额，但随着机床产业的发展，国内数控机床产品的市场占有率也在稳步提升。

“十一五”以来，我国国产机床的数控化率和国内市场占有率均有大幅度提高。其中，国产机床数控化率由“十五”末的 35.5% 提高到“十一五”末的 51.9%，国内市场占有率由“十五”末的 26.4% 提高到“十一五”末的 56.7%。特别值得一提的是，重大专项实施在应对国际金融危机冲击中发挥了积极作用，增强了重点骨干企业的创新和竞争能力。“十一五”末，我国机床企业前 10 名销售收入之和已占到机床行业总销售收入的 25% 左右。预计“十二五”末，国产数控机床年产量可超过 25 万台，国内市场占有率达到 70% 以上（按销售额计）。

（2）国内企业竞争力提升　企业的活力是产品质量的保证，国内多家重点企业在国家的支持下进行了技术改造与战略重组，以期提高企业的整体实力、活力与竞争能力。北京、沈阳等地重点机床制造企业通过搬迁改造准备快速发展；上海、武汉等地一些机床制造企业从国外引进先进技术并且消化吸收，提高自身的技术创新能力；同时，还有一些数控机床制造企业通过并购国外企业来壮大自己。值得指出的当前一个趋势是，企业与高校、科研院所密切合作，将先进的理

论与具体实践相结合，进一步提高企业的活力。

（3）产品更加丰富　之前，我国很多品种的高档数控机床基本依靠进口，包括高精度数控车床，车削中心和铣车复合中心，数控精密磨床，精密、高速加工中心，数控齿轮加工机床，数控专用电火花加工机床，纳米精密磨床，重型数控镗铣床，超重型曲轴加工机床，重型数控立、卧式车床等。如今，这一情况大有改观。目前国内厂家的数控机床品种已多达 2 500 种，并且仍在继续增加。中低端的数控机床产品基本可满足国内市场。一些高性能的基础制造装备也已研发出来，包括用于钛合金航空结构件加工的五轴联动加工中心、XKA28105×300 数控动梁桥式龙门五轴联动车铣复合机床、MKA84250/15000–H 超重型精密数控轧辊磨床、大型数控单双动薄板冲压液压机、30 万 kN 模锻压力机、15 万 kN 自由锻造水压机、4 000 吨级螺旋压力机及 6 300kN 冷锻压力机等。

（4）功能部件的关键技术得以突破　功能部件如高速主轴单元、高速滚珠丝杠、重载直线导轨、高速导轨防护装置、直线电动机、高速转台与刀库、*A*/*C* 轴数控铣头、高速工具系统、数字化量仪等我国已经研发出来并部分实现量产。目前，我国高档数控机床系统关键技术研究也已获得一定进展，包括五轴联动与复合加工技术、8 000 ～ 10 000r/min 机械式高速主轴单元和 10 000 ～ 18 000r/min 高速电主轴单元的开发和加工工艺的研究应用。多轴多通道、总线式高档数控装置、多轴联动插补算法、误差补偿等核心技术方面我国已形成了自主知识产权，已完成了 50 台（套）开放式全数字高档数控装置样机的生产。

3.1.2　我国与国外先进技术水平存在的差距

（1）自主开发能力薄弱　我国高档数控机床与基础制造装备的共性技术研究、创新性研究不够，技术的综合集成能力不足，难以支撑为满足用户需求而不断自主开发新产品的产业创新活动。同时，在数控机床开发周期、产品的性能与可靠性方面，我国与国外先进水平差距较大，如平均无故障时间（MTBF）仅为国外产品的 1/6 ～ 1/2。

（2）专业化的配套体系尚未形成　我国普及型以上高档数控系统市场基本被日本发那科（FANUC）、德国西门子（SIEMENS）垄断，中高档功能部件也大量依赖进口。国产各类功能部件所占比例大约为 15% ～ 50%，而在高档数控机床中，国产关键功能部件所占比例更低，主要依赖进口；自动生产线、生产车间等先进制造系统需要的高精度智能测量装置、工业机器人及仓储物流设备相对落后；国外已普及的远程服务技术在我国尚处于起步阶段；承担“交钥匙工程”的

能力急需提高。

（3）装备的自动化水平低　我国精密成形设备品种少、精度较低、自动化水平低，缺少超常规功能（大吨位、长行程、高刚度等）的重型锻压设备。铸造设备生产率低、可靠性差、污染严重，所生产的铸件加工余量大、材料利用率低。焊接设备的自动化、智能化水平较低，手工焊接设备占相当比重（约 44%，而国外仅为 20%）；焊接机器人、焊接专机、焊接变位机的应用较少。

（4）关键部件研制滞后　我国全数字高档数控装置，高速、高刚度大功率电主轴及驱动装置，大转矩力矩电动机及驱动装置，大推力直线电动机及驱动装置，双摆角数控万能铣头，大型刀库及自动换刀装置，高速、重载、精密滚珠丝杠及直线导轨，高速、精密数控回转工作台，全功能数控动力刀架，大型、精密轴承等大都依靠国外进口，国产品牌难以满足高端数控机床的应用需求。

3.1.3　技术参数比较

1. 主机技术参数比较

国内数控机床，特别是高档数控机床的技术水平与国外相比，还存在比较大的差距，其技术参数对比见表 3–1 ～表 3–4。

由表 3–1 ～表 3–4 可以看出，国内数控机床，特别是用于航天、航空、汽车、发电、船舶、军工等领域的高档数控机床，与国外数控机床的技术水平的差距非常明显，不仅表现在技术参数，也表现在性能参数、加工参数、精度参数，以及可靠性、精度保持性等多个方面。

2. 高档数控系统及关键功能部件的比较

数控机床主机的差别只是一方面，而其高档数控系统及关键功能部件的差距也显而易见。

（1）高档数控系统

1）全数字高档数控系统。数控系统是决定机床装备的性能、功能、可靠性和成本的核心关键部件。目前，国产高档数控系统技术有所突破，但与国外相比仍存在较大的差距。在功能方面，国产数控系统功能还不够完善，在实际应用中验证还不够全面；在性能方面，国产数控系统不能满足高速、高精、多通道控制、双轴同步控制、超前预处理功能；国产数控系统采用模拟量或脉冲量接口，而国外数控系统采用高速现场总线技术。国产数控系统的市场认同度和可靠性指标与国外数控系统有较大差距，也无统一的可靠性测评标准。

表 3-1　国内外高速、精密、复合数控金属切削机床技术参数对比

类别	国内产品的主要参数	国外产品的主要参数	备　注
高速立、卧式加工中心	主轴转速 15 000r/min，快速进给速度 40m/min，加速度 0.8*g*	主轴转速 30 000r/min，快速进给速度≥ 100m/min，加速度≥ 2.5*g*	航空、航天、军工、汽车等工业急需的装备，主要用于有色金属和难加工材料零件的批量生产
精密立、卧式加工中心	定位精度 0.008mm，重复定位精度 0.005mm	定位精度≤ 0.003mm，重复定位精度 0.001 5mm	航空、航天、军工、发电设备、汽车、铁路、船舶等工业急需，主要用于精密箱体类零件、模具等的加工
立式铣车（车铣）复合加工中心	铣削主轴转速 8 000r/min，快速进给速度 40m/min，加速度 0.8*g*，车削主轴最高转速 400r/min	铣削主轴最高转速 30 000r/min，快速进给速度≥ 100m/min，加速度≥ 2.5*g*	主要用于发电设备、航空、航天、军工、汽车、铁路、船舶等工业中大、中型箱体类复杂零件铣削、车削等一次装夹下的多工序加工
五轴联动加工中心	夹紧时（液压或机械）摆角头最大转矩 3 000N·m，*A*/*B* 轴双摆头 *B* 轴旋转 360°，*A* 轴摆动 –95° ～ +5°；*A*/*C* 轴双摆头，*A* 轴 ±95°，*C* 轴 ±360°，五轴五联动	摆角头转矩 5 000N·m，*A*/*B* 轴双摆头，*B* 轴旋转 360°，*A* 轴摆动 –120° ～ +30°；*A*/*C* 轴双摆头，*A*/*C* 轴转动范围 ±120° /±360°，多轴控制五轴联动	主要用于航空、航天、军工、发电、汽车、铁路、船舶等工业中叶片、叶轮、螺旋桨、导叶、整流罩等复杂空间曲面零件的加工
精密数控车床及车削中心	定位精度 0.015mm，重复定位精度 0.007 5mm，主轴径向跳动误差≤ 0.000 8mm	定位精度≤ 0.003mm，重复定位精度≤ 0.001 5mm，主轴径向跳动误差≤ 0.000 2mm	主要用于航空、航天、军工、发电、汽车、铁路、船舶等工业中回转体与平面、曲面组成的复杂零件的加工

（续）

类别	国内产品的主要参数	国外产品的主要参数	备　注
高速数控车床及车削中心	主轴转速 4 000r/min，动力刀具转速 8 000r/min，快速进给速度 30m/min	主轴转速≥ 8 000r/min，动力刀具转速≥ 12 000r/min，快速进给速度≥ 60m/min	主要用于航空、航天、军工、汽车、铁路等工业中回转体与平面、曲面组成的复杂零件的加工
卧式铣车（车铣）复合加工中心	铣削主轴转速 12 000r/min，快速进给速度 30m/min，车削主轴最高转速 4 000r/min	控制轴数≥ 7，联动轴数 5，铣削主轴转速≥ 20 000r/min，车削主轴转速 5 000 ～ 8 000r/min，回转坐标定位精度≤ ±7"，进给速度 40m/min	航空、航天、军工、发电、汽车、铁路、船舶等工业急需，主要用于回转体类复杂零件的车、铣等多工序复合加工
高速、精密、大型数控滚齿机	最大加工工件直径 1 250mm，最大加工模数 14mm，主轴最高转速 300r/min，加工精度 6 级	加工直径≥ 2 000mm，最大加工模数≥ 20mm，主轴最高转速 360r/min，加工精度 5 级	主要用于工程机械、载重汽车、矿山机械、船舶工业中精密大型齿轮的加工
高速、精密、大型数控磨齿机	最大加工工件直径 1 250mm，最大加工模数 25mm，加工精度 5 级	最大加工工件直径 2 500mm，精度 4 级以上	主要用于航空、航天、发电、运输、船舶、矿山、冶金、军工、工程机械等行业重型精密齿轮的磨削加工
难加工材料轴类零件超高速精密外圆磨床	砂轮线速度 35～60m/s，磨削外圆尺寸精度 0.008mm，磨削外圆圆度 0.004mm，磨削外圆圆柱度 0.002 5mm/m，磨削外圆表面粗糙度值≤ 0.32μm	砂轮线速度为 80m/s，磨削外圆尺寸精度为 0.003mm，磨削外圆圆度 0.001mm，磨削外圆圆柱度 0.001mm/m，磨削外圆表面粗糙度值≤ 0.20μm	用于航天、航空、汽车、军工、仪器仪表等行业

（续）

类别	国内产品的主要参数	国外产品的主要参数	备　注
数控切点跟踪曲轴磨床	国内尚未开发此类产品	砂轮线速度110～140m/s，机床加工范围ϕ400×1 000mm，磨削轴颈尺寸精度0.001～0.005mm，磨削轴颈圆柱度0.001～0.002mm，磨削外圆表面粗糙度值≤0.2μm	主要用于船舶、汽车的发动机大批量生产中，可高效、一次性加工发动机曲轴的主轴颈和连杆颈
精密、复合、数控磨床	外圆圆度误差≤1μm，表面粗糙度值≤0.04μm，内圆圆度误差≤2μm，一次装夹实现多工序敏捷、柔性磨削加工尚处在研发阶段	能够一次装夹实现多工序敏捷、柔性磨削加工，进给分辨力达0.1μm，具有成熟的非圆磨削技术，外圆圆度误差≤0.4μm，表面粗糙度值≤R_a0.01μm，内圆圆度误差≤0.5μm	航空、航天、军工、汽车、机床量具和刃具等领域急需的高精度加工技术设备
精密曲面成形数控磨床	国内目前尚处在开发阶段	成形磨削轮廓度最高±1～2μm，直线轴最小进给量0.1μm，成形磨削砂轮线速度最高在160m/s以上，主轴热伸长控制在±2μm以内	航空、航天、汽车等行业高精度、高效率模具加工必需的设备
五轴联动叶片数控磨床	主轴最高转速60 000r/mim，直线坐标定位精度0.015mm，直线坐标重复定位精度（R）0.01mm，磨削叶片表面粗糙度值≤0.8μm，叶身加工精度<0.05mm，叶片的前后缘加工精度<0.15mm	主轴最高转速100 000 r/mim，直线坐标定位精度0.01mm，直线坐标重复定位精度（R）0.005mm，磨削叶片表面粗糙度值≤0.4μm，叶身加工精度<0.03mm，叶片的前后缘加工精度<0.05mm	用于航空发动机及汽轮机等叶片加工

（续）

类别	国内产品的主要参数	国外产品的主要参数	备　注
五轴联动高速、精密数控工具磨床	主要依靠进口	主轴转速 12 000r/min；进给速度：直线轴≥ 15m/min，回转轴≥ 180°/s；重复定位精度：直线轴≤ 0.002mm，回转轴≤ 0.002°；多轴控制五轴联动	用于航天、航空、军工、汽车和工具行业高档数控刀具的制造
大型、精密、高效、数控螺纹加工设备	螺纹加工长度 4 000mm，以磨削为主，效率低。大型设备和高效旋风铣设备尚处于开发阶段	最大加工长度 5 000mm，最大加工直径 200mm，丝杠加工精度 P3 级；数控旋风铣床最大加工长度 8 000mm，最大加工直径 220mm，丝杠加工精度 P3 级	用于机床、滚动部件、汽车、减速机、重型机械、军工等领域的螺纹加工
高档数控珩磨机	处于研制阶段	加工孔直径 80 ～ 180mm，主轴最高往返速度 25m/min，加速度 2.5*g*，加工精度：圆度公差 0.002mm，圆柱度公差 0.008mm，并具有修正孔母线形状的功能	主要用于发动机缸体及气缸体的精密、高效加工，可提高发动机排放标准

表 3–2　国内外重型数控金属切削机床技术参数对比

类别	国内产品的主要参数	国外产品的主要参数	备　注
高速龙门五轴加工中心	*A*/*B* 轴转角≥ ±40°，*A*/*C* 轴转角≥ ±200°，*B*/*C* 轴最高回转速度 10r/min，主轴最高转速≥ 15 000r/min。当前尚处在研发阶段	*A*/*B* 轴转角≥ ±40°，*A*/*C* 轴转角≥ ±200°，*X*/*Y*/*Z* 轴快速移动≥ 60/30m/min，*A*/*B*/*C* 轴回转速度≥ 30r/min，主轴转速≥ 30 000r/min	航空、航天、军工、发电设备、汽车、铁路、船舶等工业中切削量极大的大型薄壁结构件以及整体框架、梁、壁板等的加工急需，进口量大

（续）

类别	国内产品的主要参数	国外产品的主要参数	备　注
数控双柱移动立式铣车床	武汉重型机床集团有限公司（以下简称“武重集团”）制造的最大的立式车床为单柱移动16m，最大的双柱立式车床加工直径为10m；齐重数控装备股份有限公司（简称“齐重股份”）制造并投入使用的最大的单柱立式车床加工直径为17m，最大的双柱立式车床加工直径为16m	规格大小与国内相当，但精度储备较大，精度保持性好，可靠性高。	核电、大型盾构机、海洋石油平台、船舶、矿山、冶金、军工、港口码头设备等行业特大型零件的车、铣、钻、镗等工序的粗、精加工急需
数控桥式龙门五轴联动车铣复合机床	规格5 000mm，主轴转矩≥1 500N·m，摆角转矩≥6 000N·m，Z向行程≥2 000mm，5轴联动	规格≥8 000mm，主轴转矩≥7 000N·m，摆角转矩≥7 500N·m，Z向行程≥2 000mm，5轴联动	航空、航天、船舶、军工、铁路等行业
数控重型曲轴铣车复合加工机床	刚刚着手研制	回转直径≥3 150mm，工件长度3 000～15 000mm，工件重量80t，主功率≥160kW(直流)，转矩≥160kN·m，刀架最大切削力≥100kN，刀架回转直径≥3 500mm	是船舶重型低速柴油机曲轴加工所需，可以加工各种轴类、盘类零件，可以切削各种螺纹、圆弧、圆锥及回转体的内外曲面
超重型数控落地铣镗床	主轴直径为260mm，主轴转速560r/min，Y向行程4 000mm	主轴直径320mm，主轴转速1 000r/min，Y向行程8 000mm，进给速度20 000mm/min	用于核电站关键设备，如核反应堆压力壳（高度10m以上）、大型电站、大型船舶柴油机、石化设备、采掘和钻探设备、重兵器、巨型水压机等超大型零件的整体加工及极端制造

表 3-3 国内外数控特种加工机床技术参数对比

类别	国内产品的主要参数	国外产品的主要参数	备 注
精密、高效、数控单向走丝电火花线切割机床	只掌握中档数控低速走丝电火花线切割技术，与国外技术水平差距较大。最大切割效率大于 200mm²/min；最佳加工表面粗糙度值≤ 0.6μm；切割精度±0.005mm。最细电极丝直径 0.10mm；无自动穿丝功能	国外成熟产品最大切割效率 400 ～ 500mm²/min；最佳加工表面粗糙度值≤ 0.1μm；切割精度±0.002mm；最细电极丝直径 0.02mm；有自动穿丝功能	
五轴联动精密数控电火花成形机床	只能生产三轴二联动的电火花成形机床	五轴联动	用于航天、航空、军工武器装备中高性能难加工材料复杂形面关键部件的高效高精生产
数控激光切割机	工件尺寸 4 000mm×2 000mm，行程 4 000mm×2 000mm×130mm，定位精度±0.1mm，重复定位精度 0.05mm，最大进给速度 120m/min，工作台额定载重 1500kg	工件尺寸 4 000mm×2 000mm，行程 4 000mm×2 000mm×120mm，定位精度±0.03mm，重复定位精度 0.02mm，主轴加速度 1g，局部轴加速度 3g，最大进给速度 120m/min，工作台额定载重 1 500kg，激光器功率为 4 000 ～ 5 000W，可切割的板材厚度为 0.5 ～ 20mm（碳钢）	用于切割金属板材和非金属板材
超大厚度钢锭火焰切割装备	可实现 1 500 ～ 2 000mm 的大厚度火焰切割	可以实现 2 500mm 的大厚度火焰切割设备的设计制造与应用，切割精度较高，能源介质控制系统实现了自动化	

表 3–4　国内外大型数控成形冲压设备技术参数对比

类别	国内产品的主要参数	国外产品的主要参数	备　注
大型数控单、双动薄板冲压液压机	公称压力 1 000 ～ 50 000kN；滑块行程 500 ～ 1 700mm；最大开口高度 700 ～ 2 500mm；滑块运动速度：快下速度 300mm/s，工作速度 15 ～ 30mm/s，回程速度 300mm/s；工作台有效尺寸：前后 700 ～ 2 500mm，左右 700 ～ 5 500mm。生产节拍 3 ～ 4 件 /min	公称压力 24 000kN ～ 50 000kN；滑块行程 1 700 ～ 2 500mm；工作台尺寸（长×宽）2 000mm×2 500mm ～ 5 000mm×7 000mm；工作速度 50 ～ 60 mm/s；滑块快下及回程速度 500mm/s，生产节拍 6 件 /min	
粉末冶金液压机	公称压力 200 ～ 12 000kN；滑块行程 300 ～ 1 000mm；下拉力 63 ～ 400kN；顶出活塞最大行程 120 ～ 350mm；工作台有效尺寸：前后 200 ～ 1 500mm，左右 450 ～ 1 500mm	公称压力 6 300 ～ 40 000kN；滑块行程 1 000 ～ 15 000mm；下拉力最大 2 000kN；顶出活塞最大行程 350 ～ 450mm；工作台有效尺寸：前后 1 500 ～ 2 000mm，左右 1 500 ～ 1 900mm	用于形状复杂、质量要求高的粉末冶金制品制造
高速精密数控冲床	公称压力 200kN；最高冲孔频率 1 000 次 /min	公称压力 2 000kN；最高冲孔频率≥ 1 500 次 /min；送料速度≥ 80m/min；加工精度 ±0.02mm	用于汽车、航空航天、电信等行业中大量精密钣金件的加工
大型多工位压力机	最大公称压力为 25 000kN，电子伺服三坐标送料核心技术处于研究阶段	复合成形高效冲压力 30 000kN 以上，世界最大的多工位压力机已发展到 93 000kN	用于轿车覆盖件的冲压成形
精密冲裁自动压力机	厚度 8mm 以下简单零件	厚度 16mm 以下板类复杂零件	广泛应用于航空、汽车等领域，如飞机刹车片、航空座椅等，其中汽车有 100 多种精密冲裁零件

2）国产 CPU 芯片和运动控制总线技术在高档数控系统中的应用。目前，国产的高档数控系统通过走基于工业 PC 的技术路线，重点解决工艺软件与控制软件问题，实现了技术突破，但系统所采用的硬件平台与操作系统仍为国外所控制。在高性能通用 CPU 芯片方面，我国已实现技术突破，“龙芯” CPU 芯片已达到国际先进水平并已批量生产。研制基于国产 CPU 的高档数控系统可建立在自主核心技术之上，提高可靠性，降低成本，推动国产高档数控系统的快速发展。运动控制总线技术主要用于精密、高速及复合的高档和大型数控机床，我国目前尚没有具有自主知识产权的运动控制总线、协议、协议芯片及相关标准。

3）面向数控系统的现场总线技术、规范和标准。我国目前高档数控系统发展尚无统一的技术平台和相关协议、规范和标准。为加快我国下一代高档数控系统的开发，形成国内数控系统企业的合作、配套和联盟关系，提高我国数控系统的国际竞争力，促进产业整体发展，急需研究和制订数控系统现场总线技术标准。国际上各家数控系统厂商拥有自己的总线协议和标准，属于专有技术。

（2）电动机及驱动装置

1）全数字交流伺服电动机、主轴电动机及驱动装置。目前，我国已部分掌握伺服驱动装置与伺服电动机的设计制造技术，形成了一定的产品系列和自主配套能力，但产品的性能、可靠性方面与国外相比仍存在较大差距。国内已达到的技术指标如下：交流伺服驱动器额定转矩 1 ～ 54N·m，速度环带宽 200 ～ 300Hz，调速范围 1 ： 5 000，脉冲或模拟量控制接口；交流永磁同步伺服电动机额定转矩 1 ～ 54N·m，最高转速 3 000r/min，短时过载倍数 3 倍，转矩脉动 <5%，密封等级 IP65；主轴电动机功率 3.7 ～ 75kW，转速 0 ～ 6 000r/min，恒功率小于 1 ： 3，空载最高转速起制动时间小于 4s，大部分无 *C* 轴功能，无振荡抑制功能。目前 70% 以上的全数字交流伺服电动机、主轴电动机及驱动装置依赖进口。

2）高速、高刚度大功率电主轴及驱动装置。电主轴具有结构紧凑、重量轻、惯性小、动态特性好等优点，并可降低机床振动和噪声。随着高速切削工艺技术的广泛应用，越来越多的国产数控机床将采用高速主轴、电主轴。目前，国内已批量生产应用磨削、雕铣机床用电主轴，而铣削用的大功率电主轴产品还停留在样机阶段，只有少数企业生产 22kW 以下、最高转速低于 15 000r/min 的部分规格铣削电主轴产品。主轴驱动装置与电主轴不配套，无法形成系列化产品的推广应用。功率 0 ～ 20kW；转速 0 ～ 15 000r/min；一般采用通用变频器开环控

制，无定位能力；润滑方式为水冷或油脂润滑。

3）大转矩力矩电动机及驱动装置。大转矩力矩电动机及驱动装置替代传统传动机构，简化了机床的回转轴结构，提高了转台的转速与动态响应，已在国外的高档数控机床上大量使用。目前国内大转矩力矩电动机还停留在样机阶段，其性能、可靠性、寿命与国外产品有较大差距。驱动装置则依赖进口。预计大转矩力矩电动机和驱动装置将在我国高档、多轴联动的数控机床、机器人上得到广泛应用。

4）大推力直线电动机及驱动装置。关于大推力直线电动机，目前国内还停留在样机阶段，其性能、可靠性、寿命与国外产品有较大的差距，而驱动装置则依赖进口。国内样机达到的技术指标如下：最高速度 60m/min，最大加速度 5g，连续推力 2 000N，最大推力 5 000N。

（3）数控机床功能部件

1）双摆角数控万能铣头。数控万能铣头是多轴联动机床配套的关键部件，广泛应用于航空、航天、军工、发电设备、汽车等制造领域的多轴联动数控机床。目前，国内开发的数控万能铣头在速度、精度、可靠性等与国际水平有一定差距，尚处于起步阶段。

2）大型刀库及自动换刀装置。大型刀库及高速自动换刀装置用于大型加工中心及精密、高速、复合的重型加工机床配套。目前，国内中小型刀库换刀速度为3～6s，刀具输送速度为3m/min，可靠性较低，大型高速刀库尚处于研制阶段。

3）高速、重载、精密滚珠丝杠及直线导轨。高速、重载、精密滚珠丝杠及直线导轨应用于以重型、高速、精密金属切削数控机床为代表的现代化数控机械设备制造领域。目前，国内生产的滚珠丝杠主要技术参数如下：DN 值≤ 120 000，运动速度达到 48m/min，加速度达（0.5 ～ 1）g，精度≤ 2 级，直径 32 ～ 63mm，无冷却结构产品；直线导轨主要技术参数如下：规格 45、55、65，单根制造长度为 4m，最高精度≤ 2 级，运动速度小于 80m/s，最大动载荷为 124 500N，最大静载荷为 175 300N，设计寿命达 50 000m。

4）高速、精密数控回转工作台。高速、精密数控回转工作台是高速、精密、复合、五轴联动加工中心的重要功能部件，广泛应用于连续复合曲面加工设备。目前，国内生产的高速、精密数控回转工作台的主要技术参数如下：ϕ400mm 回转工作台最高允许转速达 11.1r/min、分度精度为 20″；重复定位精度为 6″；承重 600kg；最小分辨力为 0.001°。工作台直径 ϕ170 ～ ϕ630mm。

5）全功能数控动力刀架。全功能数控动力刀架为航空、航天、军工、发电、汽车、铁路、船舶等工业急需车削中心配套，应用于回转体类复杂零件的车、铣等多工序复合加工。目前国内车削中心动力刀具速度达 4 000r/min，分度精度为 ±6″，高速、精密动力刀架基本处于研制阶段。

数控系统、功能部件及其配套产业的显著差距，进一步制约了数控机床主机的发展和创新。

3.2 发展模式比较

美、德、日三国是当今公认的数控机床制造工业强国，因其各自的社会历史条件和政府发展策略不同而各具特点。我国数控机床起步于 20 世纪 50 年代，由于对数控机床特点缺乏认识，基础薄弱，配套件不过关，发展过程较为曲折，进展缓慢。对先进工业国数控机床工业发展历程进行回顾和分析，有利于找到可以借鉴的经验，尽早实现我国数控机床产业由大变强。

3.2.1 美国数控机床工业发展模式

美国机床工业起步比英国要晚 50 年，但由于美国历届政府都十分重视机床工业，美国国防部、航空业、汽车业和模具制造业等不断提出机床的发展方向和科研任务，政府提供充足的经费，同时网罗世界人才，在发展中尤其讲究效率和创新，注重基础科研，所以在制造技术方面很快就超过了英国，跃居世界首位。

美国机床工业的发展具有如下特点：

（1）政府重视，着眼未来　美国政府历来重视对机床技术的研发和创新引导，主要表现在：对方向性重大科研课题定出计划、措施并提供充足的经费；组织引导有关科研单位和企业间的科研合作；新产品开发出来后，组织订货推广使用，同时加速推进科研进一步深化。但在 20 世纪 80 年代中期，由于政府引导的放松，美国数控机床，产量的增长放缓，被日本、德国先后赶超，并大量进口。从 90 年代起，美国政府纠正了过去的偏向，数控机床从技术转向实用，产量又逐渐回升。

（2）重视人才，不断创新　美国政府利用其经济大国的地位和优越的发展环境，在世界范围内网罗人才，以确保其不断创新的动力。近代数控机床的许多第一都出自美国。例如：1896 年福特制造出第一辆汽车，为配合汽车大量生产，格里森公司研制了一整套用于齿轮加工、测量的设备和刀具，其他公司也研制出许多新型高效的自动化机床；1934 年，美国有了世界上第一条组合机床自动线；1948

年，建立了世界上第一条年产 3 000 万套轴承的自动生产线，使汽车产量迅速提高，1950 年汽车产量达到 800 万辆；1952 年，研制出世界第一台数控机床，1958 年研制出加工中心，20 世纪 70 年代初研制成 FMS，1987 年首创开放式数控系统等。美国在机床技术先进性、产量、生产规模上长期居世界首位。目前，美国机床制造业在高效自动化机床、自动生产线、数控机床、柔性制造系统等机床技术及工业生产上仍处于世界领先地位。美国的机床制造厂主要分布于中西部和东北部各州，主要消费用户是汽车制造业、航空工业、建筑业和医疗设备制造业等。

（3）需求引导，技术领先　美国国防部、航空业、汽车业、模具制造业、建筑业和医疗设备制造业等不断提出新的需求，引导机床技术不断进步。美国机床行业则以此为动力，不断追求机床技术的领先地位，在技术上追求更高的加工效率，更加安全可靠和符合环保要求，以及更高的机床外观质量。

由于美国缺乏熟练工人且人工成本相对较高，机床用户要求机床在使用上性能更具有灵活性，以减少对熟练工人的依靠；由于环保的要求，许多客户希望机床减少切削液的使用量；智能化、高速化、精密化已经成为美国机床业发展的主流；制造过程管理、远端监控、故障排除等逐渐通过网络技术得到解决。这些需求客观上引导了美国机床工业的发展。

3.2.2　德国数控机床工业发展模式

德国的机床生产起步比美国晚 50 年，但经过发展，其机床技术先后超过法国、英国和美国，并于 1969 年实现了机床出口额居世界第一位。1976 年，德国的机床产值又超过美国，跃居世界首位。在 2006 年，德国机床生产占据了世界机床生产份额的 21%，达到 88 亿欧元；对我国的机床出口额为 7.7 亿欧元，比 2005 年增长 51%，占德国机床总出口额的 13.9%。2008 年，德国出口亚洲市场的机床占德国机床出口的 24.7%，2011 年增至 41.2%，接近其出口欧洲市场的 42.7%。尽管对其他地区的出口额在遭受 2009 年的国际金融危机后严重萎缩，但其亚洲销售市场很稳定，2010 年和 2011 年分别增长 22% 和 29%，对我国出口的市场表现尤其突出，对亚洲出口机床 33 亿欧元中的 70% 进入我国市场。2000 年，我国在德国机床出口中的占比不足 4%，但 2011 年已达 29%，翻了 7 倍，机床销售额达到 23 亿美元，是其第二大市场美国的 3 倍（7.23 亿美元）。

德国机床行业能够迅速从危机中复苏，其中一个重要的原因是在危机发生期间行业尽可能地保住了核心业务的高素质专业人才。另外，从业人员素质高、熟悉加工工艺、潜心进行机床试验、勇于技术创新等也是不可忽略的原因。

德国数控机床工业的发展历程具有如下特点：

（1）政府重视，措施得力　德国政府特别重视机床工业的战略性重要地位，认为机床工业是整个机器制造业中最重要、最活跃、最具创造力的部分。在19世纪开始修建铁路时，德国政府立足于自己制造机床，而不是购买机床。为此，他们向英、美等国学习先进的机床技术，还派工程技术人员、工人出国学习，并建立首个机床试验室，不断进行对比试验，加以改进。为发展采矿、动力、船舶工业，德国还逐步建立了一些重型机床厂，成为世界重型机床生产基地。世界上许多最大的重型机床，如加工工件直径为6m的车床、12m的滚齿机、工作台尺寸为5m×29m的龙门机床、加工工件直径为25m的立式车床等，都是德国制造的。德国生产的重型机床、大型精密机床以及许多数控重型机床（如导轨磨床等），虽然价格偏高，但由于其质量好、精度高，在国际上很有市场。第二次世界大战后，德国政府全力加强机床工业的发展，如制定机床精度标准，更新产品结构，将传统技术与现代电子技术相结合，发展各种数控机床，逐步抢回了以前丧失的世界市场。

（2）以人为本，敬业爱岗　德国在发展工业自动化生产中，在采用计算机控制、管理整个生产过程的同时，极为重视培养操作人员的能力与素质，培养各方面的人才，重点培养高素质技师、技工。在德国企业中，新工人必须经过严格培训才能上岗，此外，企业非常注重企业精神与企业文化的发展。

（3）精益求精，品种齐全　德国对机床设计、制造、使用技术精益求精，重视商业道德，以用户要求为最高准则。根据用户要求，设计出最佳方案，满足用户多方面的要求。德国的铸、锻件精度高，质量好，金属切削机床与成形机床之比为2 ： 1。在金属切削机床拥有量和产量中，粗加工机床少，精加工磨床多。特别重视刀具、砂轮的先进性、高质量，使机床能充分发挥性能和效率。在主机设计上，技术精湛，结构变化较多，各类机床系列完整，金属切削机床和成形机床的品种在4 000种以上，尤其是各种齿轮机床、刀具磨床，品种更为齐全。

（4）自成体系，专业配套　德国制造的与主机配套的基础零部件、刀具、数控系统等性能先进，并有多家全球著名的名牌企业和名牌产品。例如：生产液压件的力士乐（Bosch Rexroth）公司，其产品品种、系列、规格齐全，20世纪80年代后期，我国多个厂家引进了该公司的产品，并与其进行合作生产；海德汉（Heidenhain）公司生产的光栅尺、编码器、数控系统等产品远销世界各地，目前美国、日本、瑞士、中国等许多闭环高精度数控系统均采用该公司生产的光

栅；瓦尔特（Walter）公司的刀具、勇克（Junker）公司的刀具刃磨机床也世界闻名；西门子（Siemens）公司生产的数控系统更是世界闻名。

（5）基础扎实，重视实验　德国高度重视机床系统的工艺、结构、零件、基础理论与应用技术的深入研究。与美国相比，德国更偏重于高、精、尖技术研究；与日本相比，则更偏重于应用技术开发。1907 年，德国 Zoewe 公司创建了世界首家机床试验室，进行机床结构优缺点的对比试验。其后，亚琛大学、慕尼黑大学、斯图加特大学、汉诺威大学等均先后成立机床实验室，校企合作，围绕机床生产和发展趋势进行课题研究，如激光发振器、激光机床、直线电动机、直线电动机机床及各种先进的高精、高效、高自动化机床等。此外，还大力研究柔性制造、模块化设计，通过采用新技术降低成本，提高设备效率、利用率，提高机床的可靠性及产品质量。

德国机床工业的发展长久不衰离不开各方面因素的共同作用，也因此形成了自身的竞争优势：拥有强大的制造业基础；均衡发展，金属切削机床和成形机床协调发展，它们的产值都排在全球第二，下游市场需求结构也趋于平衡；德国拥有最尖端制造技术、最优秀的人才和最优质的产品；中型制造企业是细分市场的佼佼者；德国工人地位较高；产品附加值和效率不断提高。此外，德国人严谨的民族个性和严格遵守程序的做事风格，以及深入人心的质量文化，也是德国产品保持一贯高质量的深层原因。在全球工业及机床制造业中，德国作为工业强国位于全球之首，其机床工业产值近年基本保持在 130 亿欧元的规模。德国工业侧重重工业，汽车和机械制造、化工、电气等部门是支柱产业，占全部工业产值的 40% 以上，大众、奔驰、宝马、西门子等巨头引领全球汽车、电气产业。这些也是其不断创新、发展高档数控机床的不竭源泉。

德国发达的汽车行业驱使机床行业进一步发展与更新。数据显示，汽车工业的消费占据了机床行业总消费的 53%。同时，德国机床企业一般中小规模居多，虽然企业员工不多，但是依然能够通过精湛的技术和良好的服务获得很好的收益。我国作为德国机床最大进口国之一，更加有必要了解德国的机床发展模式，学习并吸收其先进经验。

3.2.3　日本数控机床工业发展模式

日本在 20 世纪 80 年代超越德国成为世界上最大的机床生产国，是继美国、德国之后，世界上第三个机床工业、制造业强国。

1889年，日本池贝工厂建立，开始生产第一台机床，这是其机床工业的萌芽期。这一阶段，日本政府大力扶植机床工业，在制定方针、政策上旗帜鲜明地把机床工业作为制造工业，乃至整个国民经济发展中的重点。在战略上，先后提出科技立国、贸易立国；在战术上，以机床工业为基础，发展钢铁工业、汽车工业、电力工业、造船工业、电子、核电工业等。1982年以后，日本机床工业实力长期雄居世界首位，日本成为世界公认的机床工业、制造业、工业化强国。

日本机床工业从1889—2011年共122年间，在技术发展上经历了互相交叉的三大阶段：第一阶段（1889—1955年），主要生产手动普通机床；第二阶段（1956—1976年），主要是结合制造业，如汽车、轴承、电机等发展需求，生产各种大量的高效自动化机床、自动生产线。1974年，日本以全国拥有6 700条自动线超过美国；第三阶段（1977—2011年），主要生产中小型自动化数控机床。其产量于1978年超过美国（日本为7342台，美国为5 688台）。

日本不仅其数控机床产量在世界上领先，其机床产值也在1982年以37.9亿美元超过原西德（37.48亿美元）和美国（37.45亿美元），开始雄居世界第一。随后，日本数控机床产量迅速增长，机床产值每年上升，到2008年全球金融危机的前一年，2007年，其机床产值一直高居世界首位。

由于宏观经济形势的影响，1970年后，日本的机床产业发展出现了几次反复，但至今仍是全球最大的机床生产基地。① 1973年和1979年，受石油危机的影响，日本GDP增速大幅度下降，但机床产业的产值和进出口额并没有出现大幅度滑坡，反而发展态势良好，有较强的抵御危机的能力。② 1985年，《广场协议》的签订使得日元升值，机床产业产值、进出口额以及GDP增速都出现滑坡，但2年后即出现上扬，机床产业进一步发展。③ 1990年，日本经济泡沫破裂，机床产业也受到重创，连续4年产值下滑，1994年创下历史新低。④ 几年的复苏后，随之而来的亚洲金融危机和美国经济衰退都使日本机床产业受到不同程度的打击。⑤ 2003—2007年，机床产业在国际宏观经济发展较好的态势下，出现连续5年的持续增长。但是2007年，美国经济衰退引发的全球金融危机再次冲击了日本的机床产业。

日本近年的机床行业发展有如下特点：

（1）政府重视　受第二次世界大战的影响，1945—1955年，日本机床产业发展缓慢。后来，在世界局势的影响下，日本政府看到了机床产业对于工业振兴的重要性，开始对机床产业大力扶植，相继出台《机械工业振兴临时措施法》、

《振兴特定电子工业及特定机械工业临时措施法》、《特定机械情报产业振兴临时措施法》，为机床产业的发展提供政策保障。

（2）引进创新　日本机床产业引进先进技术设备，吸收或运用别国成果，加快自身发展的速度。从早期的近乎模仿复制，到后来的完全创新，逐步前进，最终产生质的飞跃。这种追求精益求精的品质和创新战略的精神，正是日本机床领先世界的原因之一。

（3）远见卓识　对3C（Communication 通信、Computer 计算机、Control 控制）的远见和对人才的重视，使日本的数控技术突飞猛进，进而使日本数控机床及其自动化技术处于世界前列。这也是日本数控机床行业后来居上的制高点。

（4）另辟蹊径　美国、德国以汽车、宇航工业、一流高档先进数控机床为主攻方向，技术先进，价格较贵；与美国、德国不同，日本以大、中、小企业所需、量大面广的中档偏高的数控机床为主攻方向，以能占领广大市场、牟取利润为第一位，但其产品质量同样一流。

（5）配套齐全　日本数控机床所需配套技术、基础零部件齐全，质量过硬、技术一流，产品开发—投入市场的速度超过美国、德国。其微电子技术、计算机技术、通信网络技术、数控控制技术，均居世界一流。特别是数控基础所需配套件、软硬件，技术过硬，互相成套，基础技术过硬。数控系统、各种功能部件、机、电、液、气、光元器件、先进刀具、量仪、附件、精密轴承、车轴、伺服电动机等，一应俱全。日本社会的技术链、生产链、供销链相当周密。

（6）重视人才　企业对职工实行终身制，培育人才，积累技艺，提高技术，增强实力。企业特别重视对一线工艺技师的培养和保护。

日本能在短期内从机床技术落后20年跃居世界一流，关键在于其战略战术正确。尽管日本地小、资源紧缺，但仍千方百计地利用世界资源，从国外购置资源，以满足自身的发展需要；在引进先进技术上，能够在仿制剖析的基础上，想方设法改良、创新，使之实用化。

我国与日本的机床产业起步时间相差并不远，但随着各自的发展逐渐有了差距。日本作为世界机床行业的后起之秀，其机床产业的发展对于我国这个全球新兴的制造业大国——“世界工厂”来说，有很强的借鉴意义。

3.2.4　我国数控机床工业发展模式

我国机床产业的发展道路可以明显地分成两大阶段：第一阶段是中华人民

共和国成立后 30 年（1949—1979 年）；第二阶段是改革开放后 30 多年[19]。

在第一阶段，我国在苏联政府和专家的帮助下，生产了一些手动普通机床。1953 年确定了 18 个机床厂的分工和主要发展方向，见表 3–5。此后又建立了 7 个综合机床研究所，37 个各类机床专业研究所。

表 3–5　18 个机床厂及其专业分工

序号	厂名	专业分工
1	沈阳第一机床厂	卧式车床、专用车床
2	沈阳第二机床厂	钻床、镗床
3	沈阳第三机床厂	转塔车床、自动车床
4	大连机床厂	卧式车床、组合机床
5	齐齐哈尔第一机床厂	立式车床
6	齐齐哈尔第二机床厂	铣床
7	北京第一机床厂	铣床
8	北京第二机床厂	牛头刨床
9	天津第一机床厂	插齿机
10	上海机床厂	外圆磨床、平面磨床
11	无锡机床厂	内圆磨床、无心磨床
12	南京机床厂	转塔车床、自动车床
13	济南第一机床厂	卧式车床
14	济南第二机床厂	龙门刨床、机械压力机
15	长沙机床厂	牛头刨床、拉床
16	武汉机床厂	工具磨床
17	重庆机床厂	滚齿机
18	昆明机床厂	镗床、铣床

1950—1958 年，我国机床产业得到了良好的发展。但是之后，我国机床产业发展受到冲击，致于到 1976 年的近 20 年间内，机床产业几乎停滞发展，与其他机床产业先进国家的距离拉大。

在第二阶段，吸取了前一阶段的经验教训，并且在改革开放政策的带动下，机床产业逐步走向科学发展的工业化道路。同时，1980 年的改革开放，发达国

家也逐渐解除了技术封锁，我国开始引进日本、德国、美国等国家的先进数控技术，坚持干中学、用中学，机床产业发展比较迅速。特别是21世纪以后，我国经济发展迅速，市场需求旺盛，机床产量大幅度增加，国有机床市场占有率日益提高。

2006年以来，国家更加重视机床产业的发展，发布了《国务院关于加速振兴装备制造业的若干意见》，国家发展和改革委员会（以下简称国家发改委）又制定了《数控机床发展规划》，对机床产业的发展进一步提出了要求。

2009年起，我国开始实施“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项。科技重大专项的实施助推了企业自主创新、高端产品研发和中高端产品产业化进程。近10年的高速发展，企业工艺装备条件有很大改善。《机床工具行业“十二五”期间工作要点（试行）》明确了机床工具行业由大变强的努力方向，指明了“十二五”期间行业的重点任务及采取的主要措施。确立的三大标志性目标是：在为重点行业核心制造领域提供装备和服务方面取得突破性进展；中高档数控机床国内市场占有率显著提高，中高档数控系统和功能部件国内市场占有率显著提高；形成若干世界知名品牌和优势企业。

从中国和日本机床产业的发展历程可以看出，两国在机床产业的发展上有相似性。在发展初期，政府都对该产业给予大力支持，在世界宏观经济形势和国内经济形势的影响下显现出曲折发展的态势。

3.3 发展环境比较

数控机床主要由主机、功能部件和数控系统三大部分组成，其中最具附加值的部分是数控系统和功能部件。除此之外，数控机床还需要先进的自动化刀具、工装，才能实现有效的加工。

数控机床产业的发展是社会需求、科技水平和人员素质三者的结合，缺一不可。其中人员素质在我国现阶段表现得更为重要，不仅需要各种精通业务的专家、人才，也迫切需要高水平的熟练的技术工人，互相配合，共同努力，才能使数控机床产业得以快速并顺利发展。

3.3.1 中日发展环境比较

任何一个国家机床产业的发展都不能脱离宏观环境，下面主要从政策、经济、技术、人才、管理等方面分析比较中日机床产业的发展环境。

（1）国内政策比较　日本政府对机床产业的发展有着长远、持久的规划，通过法律保证实施，政府并不过多干涉机床产业本身的发展。但是，日本的政治环境并不理想，在未来可能成为制约机床产业发展的因素。

我国政治环境安定、有序、和谐，为机床产业提供了很好的发展环境。但我国对机床产业大多是国家层面的政策引导，缺乏类似日本的《机电法》《机情法》等专门法律规范的指引，部分发展规划难以落到实处。

（2）对外政策比较　我国对外政策稳定、连续，不谋求霸权，与他国友好相处，经济上互利互惠，数控机床物美价廉，低中端市场很有竞争力，这些给我国数控机床的发展提供了更为广阔的市场空间。

（3）经济实力比较　日本经济高度发达，人均 GDP 超过 3 万美元。良好的经济环境促进了机床产业的发展。但受经济危机的影响，日本的经济陷入了衰退境地，2008 年日本经济增长率为 –6%，外需的减少严重影响了日本机床产业的发展。

我国的经济在改革开放后的 30 多年，一直以较大的幅度持续增长，即使在全球金融危机、欧洲债务危机等大环境下，由于政府的科学判断与果断决策，我国经济依旧保持较高增速，汽车等产业的蓬勃发展都为机床产业的发展提供了契机。我国经济虽然还没有日本发达，但发展趋势很好，内需强劲，为机床产业的发展提供了良好的平台、更多的机会和空间。

（4）技术水平比较　日本拥有机床行业最先进的核心技术，包括主机设计技术、制造技术、用户试验技术、数控技术、高速主轴、滚珠丝杠、滚动导轨、轴承、测量控制系统等。其专业化分工明确，已形成完整的技术链和产业链，并且创新和改进不断。

我国的数控机床技术水平并不占优势，关键核心技术和部件并不掌握在自己手中，面临“去核化”的危险。但近几年已经加强对机床核心技术的吸收能力，随着国家重大科技专项的实施，在国家的引导下，各关联企业已经加强对关键技术的试验、消化、掌握及创新，逐步形成“政产学研用”体系。

（5）人才要素比较　日本的机床企业中近一半的人员都在工程院校受过专业训练，这是任何一个国家都不能比的。持续的人力资本投资为日本机床产业的自主创新奠定了基础，同时，人力成本相对较高。

我国具有优越的人力资源，但高级人才不具有很强的竞争力。在国家大力发展制造业的政策指引下，我国的教育特别是职业教育的投资越来越大，我国机床

产业的人才竞争优势将逐渐加强。

（6）管理能力比较　日本的企业生产自动化程度较高，管理能力较强，参与市场竞争的国际化程度较高。员工的终身制在一定程度上简化了管理难度，确保了核心技术的传承。

我国的企业管理头绪相对较多，类似于管理一个小社会，参与市场竞争的国际化程度较低，员工的稳定性需要做更多的工作，各企业的技术和产品趋于同质化。我国机床企业已经加大制度创新和体制改革的力度，不再是国有企业一统天下，民营企业数量已占近半。机床企业内部制度创新和技术创新相结合的道路越来越明显。

从对中日两国机床产业的发展环境分析可以看出，日本机床产业处于衰退的经济环境、不稳定的政治环境下，但是技术创新仍然是产业保持活力的重要源泉；我国在稳定增长的经济环境、和谐健康的政治环境下，机床产业的发展显现出生机，但管理、人才、核心技术和相关产业链的不足和缺失是制约其发展的瓶颈。

3.3.2　其他国家的发展环境

世界上机床工业比较发达的国家，大都对本国数控机床行业采取过保护和扶持措施。

1. 美国

美国的机床工业由于决策失误，曾一度失去了竞争力，但当其意识到机床工业的战略地位后，立即采取紧急措施进行国家干预。1986 年，美国颁布了总统国内行动计划，与 11 个国家及中国台湾省签订了限制向美出口数控机床的所谓“自动约束限制协议（VRA）”。此外，美国还制定了促进本国数控机床发展的计划。在政府挽救性措施的保护下，美国机床工业形势逐渐好转。

2010 年 8 月，美国总统签署了美国制造业提高法案，该法案将降低或暂停美国制造企业在进口生产原材料时必须支付的部分关税。此法案涉及机床产业内容的主要是对某些制造设备延长了两年免税期，至 2012 年 12 月 31 日，这些设备主要用于加工非高速公路用、且轮辋直径在 635mm 及以上的辐射轮胎相关制件的数控剪切机及其零部件等。这些措施能降低企业的成本，有助于提高其市场竞争力。

2. 德国

德国对本国工业发展环境进行强大而细致的呵护，首先体现在德国国内井

然有序、严格避免重复建设、保护工业发展利润的工业系统布局。在德国，不同的州、地区都有各自独特的工业优势和产业集群，如汽车工业集中在南部斯图加特、慕尼黑地区及周边，这里也是奔驰、宝马的总部；蒂森克虏伯等重型工业则集中在传统的鲁尔区；西部边陲亚琛则是集中了德国最核心的工业技术院校和先进的产学研研发基地的德国“工业硅谷”，在这里有工业制造行业最高学府——亚琛工业大学，更有遍布高校园区的企业联合研发中心，是世界科学研究和开发的基地之一。其次，德国政府还通过补贴企业代培技工的方式来促进教育与实业的一体化。在德国，许多工厂内均设有政府补贴支持的技校学生金工实习基地车间，每个技校学生从第二年开始就必须保证每周三天以上在工厂的金工实习，实际参与机床操作与工艺创新，并在毕业后可直接进入企业工作或是进入大学继续进行专业技术深造，技校—实习—大学的完整教育体系确保了源源不断的高素质技术人员进入实业。此外，德国政府还对高校与企业的联合科研开发予以资金支持和创新奖励，保障企业愿意投入长期的基础工艺、技术和产品研究开发。

3. 意大利

意大利的机床工业原来远远落后于西欧和北美的一些国家，在 20 世纪 60 年代初和中国机床工业处在大致相当的水平，但在 20 世纪 80 年代中期以后，其机床产值超过英国和法国。究其原因，政府的法规和政策起了至关重要的作用。

意大利政府在 1965 年颁布了以贷款和分期付款的方式刺激购买新机床的法案之后，又通过了刺激设备投资和采用中高档技术装备的法案。这种通过贷款和分期付款方式鼓励企业购置本国的数控机床、为制造厂提供研究开发资金及出口信贷、对进口机床提高关税等一系列措施，为意大利机床工业的振兴解决了市场、资金等问题，从而使其在 20 世纪 70 年代后期和 80 年代中期得以高速发展。

4. 欧洲联盟

欧洲联盟（以下简称欧盟）对数控机床工业的发展也是十分重视，为提高其竞争力，欧盟资助由欧洲机床协会、制造厂家、科研院所、最终用户和银行等 9 个国家的 25 家单位联合组成的研究队伍，进行“下一代生产系统（Next Generation Production Systems）”的研究，项目经费高达 2 400 万欧元，为期 4 年（2005—2009 年）。

2003—2015 年，欧洲机床工业合作委员会组织欧洲国际机床展，每逢奇数

年份分别在德国汉诺威和意大利米兰举行；同时，成立欧洲机床工业合作委员会技术部，支持机床技术研发，其多项研究计划中都包含有机床部分内容，如“欧盟第 7 框架计划（the EC7th Framework Programme，FP7）”“专题网络制造技术（Thematic Network on Manufacturing Technologies，MANTYS）”“为建设具有竞争力的机床而关注环保产品生命周期管理（Environmental Product Life Cycle Management for building competitive machine tools，PROLIMA）”等。

5. 其他国家

西班牙、法国、印度等国在不同阶段也都采取过保护和扶持本国数控机床产业的措施，而这些措施都是出于国家战略利益的考虑，并不遵循自由贸易原则。

3.3.3 国内政策环境

自我国第 6 个五年计划以来，我国政府在每一个五年计划中，都通过技术改造和各类科技攻关计划等，对数控机床关键技术的研究、开发和应用给予了重点支持。通过“六五”期间引进技术、“七五”期间消化吸收、“八五”期间自主开放、“九五”期间工程化、“十五”期间产业化和高、精、尖重点应用，到“十一五”“十二五”期间实施重大科技专项，我国数控技术与装备从无到有，从少到多，从低到高，取得了长足的发展和进步。

目前，振兴装备制造业已经成为国家的重大发展战略，国家也为包括数控机床产业在内的装备制造业振兴提供了良好的政策环境。特别是本书 2.1.2 节中所述的三个文件对数控机床给予了特殊重要的地位。

高档数控机床及基础制造装备国家科技重大专项是为了实现国家目标，通过核心技术的突破和资源集成，在一定时限内集中力量突破关键共性技术，完成重大战略产品和重大工程的专门项目。重大专项从 2009 年启动，三次共支持 268 项课题，总经费 91.5 亿元。其中，中央财政投入 21.9 亿元，承担单位自筹及地方财政投入 69.6 亿元。预测“十二五”期间将持续加大重大专项的投入。每年重大专项将带动我国机床行业增加研发投入 100 亿元以上，其中中央财政投入大幅增加至 30 亿元。2009 年至今重大专项的持续投入，显示了政府对发展高档数控机床与基础制造装备的决心。

“十一五”期间，在国家重大专项的支持下，国内高档数控机床在高速切削技术、难加工材料超高速磨削技术等很多重大技术方面实现了突破，制造出了龙门五轴联动车铣复合机床、超重型数控卧式镗铣床、精密卧式加工中心等一批标志性的重大设备，有效地打破了国外技术封锁和市场垄断。

但应认识到，“十一五”期间重大专项瞄准的是国外20世纪初期的高档产品和先进技术，和当今最先进的技术和产品还有一定的差距，像机床的可靠性、经济性以及精度保持性等方面，还有外观以及应用软件等方面，都有很多需要继续努力的地方。要想真正赶上和超过国外先进机床技术水平，国内机床企业需要付出更大的努力。

围绕航空航天、汽车、船舶、发电设备制造需要的高档数控机床，符合市场的一致预期。“十二五”期间，数控机床有望在国家重大专项持续有力的支持下，在全行业的共同努力下，实现量变和质变同步，基本扭转机床行业大而不强的局面。

第 4 章　加快实现我国数控机床产业跨越发展的措施

在“十二五”规划中，数控机床产业已被列为战略性新兴产业之一，高精、高效、智能化是未来的发展重点。对于国内机床企业来说，这也是必经之路，唯有创新才能与国外产品相抗衡。良好的政策推动着国产机床前进的步伐，强劲的增长势头也将会巩固我国作为世界最大机床消费国和生产国的地位。

国家一直高度重视机床工业的发展。我国机床产业拥有数十年的经验，尽管近年来国内数控机床产品升级步伐加快，技术研发力度不断加大，发展势头强劲，但在技术、服务方面与国外先进国家相比还有很大的差距，国内机床产业必须从根本上改变发展思路，走高端路线，全面实现国产化，加强机床产业国际市场竞争力。

我国数控机床产业已经形成了良好的发展基础，但是仍存在一些问题，如：制造装备技术落后，关键工作母机大多依赖进口；行业技术水平不高，创新能力和整体竞争力不强；制造过程中资源消耗大，综合利用率较低等。因此，企业应从提升机床制造水平和提高产品品质方面加强修炼内功，向市场提供适销对路的产品；从采购、生产、销售、管理各个环节，精兵简政，加强内部成本控制，提升市场竞争力；从企业宣传和用户服务方面，推销自己，拓展服务，创建良好的品牌效应，实现持续发展。此外，企业应有规划地利用有效资源，对企业进行宣传推广、技术改造、人才引进和品牌建设，逐步缩短与国际先进国家的差距，创建百年企业。

当前，我国数控机床产品已具有较强的市场竞争力，但在中、高档数控机床方面，与国外一些先进产品与技术发展相比，仍存在较大差距，大部分处于技术跟踪阶段；高速、柔性、精密机床配套技术的自主研发能力低；数控机床的机械结构设计、制造的配套环节、集成技术和制造工艺等方面比较落后。据统计，我国大型高性能超精机床每年生产不足千台，仅占国产机床总量和总价值的 1.5% ～ 2.5%，不到德国、日本的 1/20。对国外技术重引进、轻消化吸收的问题

仍很突出。中国社会科学院工业经济研究所所长吕政指出，对成熟技术的引进、消化、吸收是现阶段我国企业先进技术的重要来源。现在的突出问题是我国对先进技术消化、吸收的投入还远远不够。据了解，日本用于技术引进的费用和消化吸收费用的比是 1 ： 5，韩国是 1 ： 8，而我国仅是 1 ： 0.15。也就是我国花 1 元引进技术，只花 0.15 元对其进行消化吸收，这也是我国不断重复引进技术的主要原因。这样不仅花费了大量的外汇，而且装备制造业的生产技术也不可能提高，总是不断地重复引进。

实现我国数控机床产业的跨越发展，主要应采取以下几方面措施。

4.1 加大国际化经营力度

由于国产高端机床的研发与应用滞后，我国对高端机床的需求依赖进口的局面在短期内仍将持续。国产中端产品的可靠性及精度保持性欠佳，同时为用户提供全面解决方案的能力不足，导致大量的日本、韩国及中国台湾机床进口，中端产品面临大量进口的冲击，严重影响着我国机床工业的发展。我国机床企业应突破技术瓶颈，在满足产品功能和性能的基础上，狠抓产品品质，在满足国内机床市场需求的同时，把目光投向国际大市场，用世界大舞台来检验国产机床，提高其适应能力。

我国是世界上最大的机床消费国，占世界机床消费总量的 1/4，特别是对高端机床有巨大的需求，但国内生产的机床难以满足制造业越来越高的要求。另一方面，中国出口的机床工具中，劳动密集型产品和低附加值产品占有很大比重，这种情况近几年来有所改善，出口产品技术含量有所提高。2012 年上半年，数控机床出口的平均单价为 3.1 万美元 / 台，比上年同期的 2.18 万美元 / 台提高了 0.92 万美元 / 台。但总体看，差距仍然很大，需要不断调整和优化出口产品结构。首先，要适应国际市场需求，调整出口产品结构。全球金融危机发生后，各国采取了一系列应对措施，国际市场需求结构发生了变化，相关出口企业要适应这一变化，根据用户需求，及时调整产品结构，做好服务。其次，随着国内企业转变发展方式、调整产品结构的进展，应及时优化出口产品结构，提高出口产品技术含量，继续推进加工贸易转型升级，提高产品档次。此外，应逐步减少铸件毛坯、锻件、钢结构件等高能源消耗的资源型产品的出口。

人民币的不断升值给出口企业造成很大困难，出口贸易需要寻找规避汇率风险的有效方法。2010 年 6 月，中国人民银行等部门发布《关于扩大跨境贸易

人民币结算试点有关问题的通知》，决定扩大跨境贸易人民币结算试点的地域范围和业务范围。这项措施是规避汇率风险的重要选择，可以减少对美元的依赖，减少人民币升值给出口企业带来的损失，已产生积极效应。中国银行2011年7月7日宣布，中国2011年以来境内外跨境贸易人民币结算总量已超过8 400亿元，大大高于2010年全年的业务量。据统计，到2010年年底，实行跨境贸易人民币结算试点企业已超6.7万家。出口企业要积极争取列入试点名单，积极推进人民币结算。由于目前人民币结算额中绝大部分是进口货物，出口货物仅占10%～20%，出现了明显的失衡现象，为此，中国人民银行于2011年6月21日公布《关于明确跨境人民币业务相关问题的通知》（以下简称《通知》），正式明确了外商直接投资人民币结算业务的试点办法。《通知》指出，境外参加银行应当追踪客户购售人民币后的资金流向，对新客户及金额较大的交易作更详细的审核，并应当注意监测异常交易，以防止潜藏的套利行为。出口企业要与客户密切合作，选择有实力的银行，积极推进人民币结算。

机床进口年年高速增长，给国内机床行业带来了巨大压力，国内企业要把握机遇，迎接挑战，提高自主创新能力。2011年4月29日，国家发改委、财政部、商务部发布了鼓励进口技术和产品目录（2011年版），其中包括16种高档机床（与2009年发布的目录相同）给予贴息（按一年期银行贷款利率）政策支持。《海峡两岸经济合作框架协议》实施以来，一大批机床工具从中国台湾进口，增长迅猛。再加上人民币升值将降低进口成本等，必将进一步扩大进口。为此，面对大量进口，要把握机遇，建议我国相关企业一方面要充分用好国家鼓励进口的政策，引进所需的先进技术和设备以及产品配套用关键零部件；同时，要重视引进技术的消化吸收和再创新工作。

据联合国贸发组织公布的数据，我国对外投资总额已经由2008年的世界第12位上升到2009年的第6位，我国已进入海外投资较快增长阶段。目前，国家有关部门正在制订相关法规，促进境外投资的便利化。近几年来，中国机床行业一些有实力的企业，开展国际化经营取得了实效，有的正在逐步建立全球销售服务网点，为进一步扩大出口创造了很好的条件。因此，要在总结经验的基础上，继续鼓励更多有条件的机床工具企业“走出去”投资办厂，或者与当地企业合资、合作，或者有选择地兼并、收购国外具有先进制造技术的企业，加大国际化经营力度，创造条件，逐步将先进技术移植到国内企业生产的产品中，以此促进我国机床工具企业产品结构的调整升级。

全球金融危机发生后，各国采取了一系列的相应措施，国际市场需求发生了一些变化，有的客户提出了一些个性化要求，我国有关出口企业要适应这一变化，根据用户需求，及时调整产品结构，做好服务。从2010年我国部分出口产品，尤其是数控机床和加工中心的情况看，产品结构仍无改善。因此，要特别重视提高出口产品的技术含量和档次，提高劳动密集型产品的质量。

积极开拓中东、中亚、拉美、非洲、东欧等市场，推进出口市场多元化，努力弥补我国在欧盟、美国等市场丢失的份额。由希腊开始的欧洲债务危机，已延伸到爱尔兰、西班牙等国，导致欧洲主权债务危机的影响继续扩散，促使欧元大幅度贬值，也使人民币相对欧元而升值，对我国出口有较大影响。相关企业要密切关注欧元汇率的波动情况和市场变化情况，积极采取相应措施，及时调整出口策略。

我国企业一方面要充分用好国家鼓励进口的政策，引进所需的先进技术和设备以及产品配套用关键零部件。在扩大进口的过程中，利用进口设备，通过与外商谈判、招标等方式，同时引进技术；或者以进口设备吸引外商与我方合作，由中方企业承制若干部件并转让部分技术，随着进口同类设备数量的增加，逐步扩大中方企业承制范围，掌握全部技术。

另一方面，要努力提高自主创新能力。自主创新并不意味着什么都要从头开始自行研制。在经济全球化和科技迅速发展的今天，任何国家不可能在一切领域都独立地发展技术，关起门来搞自主创新。从这个意义上说，重视引进技术的消化吸收和再创新工作非常重要。因此，我国企业要在扩大进口的同时，在消化、吸收、再创新上下功夫，通过进口技术先进的设备，进行分析研究，在消化吸收的过程中，同步予以改进和创新，逐步形成自己的知识产权，提高自主创新能力，不断研制、开发具有自主知识产权的新产品，努力提高竞争力。

《海峡两岸经济合作框架协议》已于2011年1月1日起实行。对中国台湾这一优惠待遇的实现，给国内相关企业带来很大的竞争压力，必须积极应对。企业要不断提高产品质量，加强管理，降低生产成本，以积极的态度参与竞争。

4.2 提高创新能力，实现可持续发展

创新是一个民族进步的灵魂，是一个国家兴旺发达的不竭动力，更是一个企业发展壮大的必由之路。《国务院关于促进产业结构调整暂行规定》中关于产业结构调整的原则是：以自主创新提升产业技术水平。把增强自主创新能力作为调

整产业结构的中心环节，建立以企业为主体、市场为导向、产学研相结合的技术创新体系，大力提高原始创新能力、集成创新能力和引进消化吸收再创新能力，提升产业整体技术水平。

《国家技术创新工程总体实施方案》提出创新的主要任务包括：建设和完善技术创新服务平台。明确技术创新服务平台的建设要求，突出资源整合和服务功能；按照“面向产业、需求导向；创新机制、盘活存量；政府引导、多方参与；明确权益、协同发展”的原则，构建面向重点产业振兴和战略性产业发展的技术创新服务平台。依托高等学校、科研院所、产业技术创新战略联盟、大型骨干企业以及科技中介机构等，采取部门和地方联动的方式，通过整合资源，提升能力，形成一批技术创新服务平台。充分发挥转制院所在技术创新服务平台建设中的作用，加快先进适用技术和产品的推广应用，加速技术成果的工程化，加强产业共性关键技术研发攻关，加强研发能力建设和行业基础性工作。提高服务平台队伍的专业化水平。到2020年，技术创新能力明显增强，在重点行业关键设备设计制造方面形成一大批具有自主知识产权的产品和技术，一批技术创新能力处于国际领先地位的重大装备。

因此，应开展基础共性技术研究，加强自主创新，实现关键技术的突破和自主发展；发展节能、环保、可靠、高效和高性能的产品；增加产品的技术含量，提升设计和制造水平，创新服务模式，降低资源消耗，减少环境污染，提高经济效益；借助已有的技术基础和重大专项支持，进一步推动适应数控机床产业发展的共性技术研究和产品开发，使产业快速上升一个到新高度。

对于机床产业，为促进其发展建议采取如下措施：首先，政策层面上，政府可以对高端机床零配件的进口实行关税上的优惠；其次，机床企业要提高数控机床产品的自主开发、制造能力，要以高档机床发展为主攻目标，提高整机可靠性和产业化水平；再次，政府及企业要注重高端技术人才及管理人才的培育与引进，培养精通外语又有经验的高级复合型技术人才，使我国机床行业的技术发展走可持续发展道路；最后，应加强国际交流与合作，机床企业可直接与国外科研院所和国外一流企业合资、合作，以市场换技术，以有限的资金换取无限的发展，实现主流产品生产的高起点、成批量、专业化。

随着市场对高端产品需求量的不断加大，机床企业能否加快产品技术升级来满足市场需求，决定着国内机床企业在市场竞争中能否拥有一定的话语权。对此，应该提倡装备制造业的创新精神，加大机床制造的创新力度，建立完备的研

发体系，来抢占高端产品市场。

4.2.1 我国数控机床产业的发展方针

根据我国数控机床产业发展现状和需求趋势，笔者总结归纳出我国数控机床产业发展方针为“一个坚持、二个深化、三个加强、四个突破和五个完善”以供参考，即：

（1）一个坚持　坚持以生产高端高附加值产品和提供综合解决方案服务为核心。

（2）二个深化　深化走中高档产品结构为主的发展道路；深化由工业经济向服务型经济转化的结构调整。

（3）三个加强　加强信息化技术在数控机床行业的应用；加强生产制造过程中先进技术的科学试验；加强数控机床全生命周期管理。

（4）四个突破　突破汽车发动机加工的成套制造技术；突破航空航天发动机的高精度复合加工技术；突破轨道交通超长构件的整体加工技术；实破电子信息产业的微纳制造技术。

（5）五个完善　完善创新平台建设；完善品质保障系统；完善用户服务体系；完善人才发展工程；完善联盟协同机制。

4.2.2 我国数控机床产业振兴的技术策略

为加快振兴我国数控机床产业，建议在 10 年内系统、持续地抓好下列三组技术群：

1）提高产品质量的共性技术，以保障产品可靠性和精度寿命成倍提高。

① 从设计源头抓起，包括制造、装配、验收、测评、交验和售后服务各个环节制度化、规范化，使 ISO 9000、6σ 质量控制和精益生产观念得以具体贯彻。

② 对关键件、组件和部件配置中间试验台，严格控制制造和装配质量。

③ 各机床企业针对关键工艺研发母机，作为企业的核心装备。

2）针对汽车、航空航天和轨道交通的产品加工特点，发展适用的精密高档数控机床，拥有自主核心技术。

① 对于汽车行业，以发动机关键件生产线为需求，深化发展微米级精度的高效加工技术（简称 μ 级工程）和生产线成套技术，提供其所需的高效精密加工装备。

② 对于航空航天行业，研究高精度复合加工技术和复杂型面多轴联动高速加工技术及装备。

③ 对于轨道交通行业，重点研究多工序集成加工技术，发展高效、可靠的专用数控加工装备。

④ 作为专有技术的延伸，研究服务于可再生能源行业、军工行业、电子信息行业、机床行业等需要的高精度高效专门化加工装备。

3）培育创新基础，着重解决数控机床环保节能和机床智能化的技术。

① 推进和完善以技术中心、研究中心和实验室为核心的创新平台建设。

② 加强以试验和仿真相结合的分析技术。

③ 研究数控机床环保、节能和再制造等绿色制造技术。

④ 分三个阶段实施智能机床发展：工作状态的约束控制→工作参数优化的自适应技术→智能机床。

4.2.3 数控机床行业工作指导思想与发展目标

以科学发展观为指导，转变方式，调整结构，聚焦国内中高端市场，以创新驱动战略为统领，采取重点突破带动全局的总体策略，发挥重大专项的带动引领作用，实现全行业工作重心的转移。即要把全行业的工作重心，转移到为国民经济重点行业核心制造领域服务上来，转移到不断提高中高档数控机床的国内市场占有率上来，转移到不断提高中高档数控系统和功能部件的国内市场占有率上来。在工作重心转移的过程中，推动行业实现由规模扩张向技术进步的发展模式转变，并逐步形成一批具有国际影响力的世界知名品牌和优势企业，完成行业由大变强战略转变的阶段性目标，具体有以下几方面。

1）在为重点行业核心制造领域提供装备和服务方面取得突破性进展。航空航天、船舶、汽车和发电设备制造是国民经济和国防安全的重点行业，也是机床工具行业最重要的服务领域。这些行业的核心制造领域（如航空发动机、汽车发动机、船用柴油机和核电机组制造等）对机床工具装备有着很高的综合性能要求，是典型的高端细分市场。为这些核心制造领域提供装备和服务的能力，代表着机床工具制造业的水平，也是机床工具行业战略基础地位的价值体现，是机床制造强国的主要标志。

经过多年的发展和积累，机床行业已经初步具备全面开发高端细分市场的基础条件。“十二五”期间，机床工具行业要集中全行业力量，在已经取得的服务成果基础上，迅速转向开发中高端细分市场的能力建设。要采取切实有效的措施，在为这些重点行业核心制造领域提供装备和服务方面力求取得突破性进展。

根据“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项实施计划，上述重点行

业核心制造领域所需的高档数控机床和基础制造装备立足于国内的比例分别为：汽车制造领域为40%，航空航天制造领域为50%，船舶制造和发电设备制造领域为70%。同时，要密切跟踪战略性新兴产业的发展，并为其提供先进适用的机床工具装备。

2）中高档数控机床国内市场占有率显著提高，中高档数控系统和功能部件国内市场占有率显著提高。中高档数控机床国内市场占有率、中高档数控系统和功能部件国内市场占有率较低，是现阶段行业主要矛盾的具体表现，实现上述两项占有率显著提高的目标，是机床工具行业产业结构水平和核心竞争力提高的重要标志，是全行业“十二五”期间的主攻方向。

根据《机床工具行业“十二五”发展规划》，2015年力争使国产数控机床的国内市场占有率达到70%以上。

根据《高档数控机床与基础制造装备科技重大专项“十二五”实施计划》，2015年力争将中高档数控系统的国内市场占用率由20%提高到50%，中高档功能部件的国内市场占用率由5%提高到20%。

智能制造装备涉及领域众多，但结合此前高端装备领域已经将大飞机、卫星、高铁、海洋工程等重大复杂战略工程确定为发展方向，以及近期战略性新兴产业具体指导目录开始提倡“必须要有重大技术突破”的执行原则，智能专用设备（机器人、各类无人机械）及智能控制系统这两大领域最能体现“高端、智能”的特点；同时，由于其既能代表行业的技术升级方向，又有明确的市场需求和产业化前景，而目前资本市场也并未给予足够关注，因此将极有可能成为智能制造装备中最具潜力的投资领域。

智能制造装备的基础配套功能不仅体现在对海洋工程、高铁、大飞机、卫星等高端装备的配套及对其他行业制造装备的零部件等简单配套方面，其更重要的发展方向是为各行业提供控制系统、成套生产线、机器人等各种高级形式的配套。因此，“十二五”期间，将重点发展面向航空航天、船舶、发电设备制造业需要的重型、超重型数控加工机床，多轴联动及复合加工机床，高速及高效加工机床，大型、精密数控机床等。

3）提高中高档数控机床的市场竞争力。我国数控机床行业的使命和任务就是为国家发展做贡献。《机床工具行业“十二五”期间工作要点》提出的三大标志性目标是：着力提升中高档数控机床的市场竞争力；着力提升中高档数控系统和功能部件的配套能力；着力提升面向中高端市场的综合服务能力。

高档数控机床对国外的依赖程度依然很高，而中低档机床的市场需求已大幅度降低，中高档数控机床的市场需求依然强劲，国内还远不能满足，因此提高中高档数控机床的市场竞争力已经成为今后行业重中之重的任务。

近年来，国内行业企业涌现出一大批中高档数控机床创新成果，但不少产品在产业化技术和深层次技术上与国外同类产品相比还有较大差距，因而缺乏市场竞争力。因此，行业企业应主动而迅速地调整战略，集中优势力量解决市场化和产业化的技术难题，竭力做好用户服务，促进创新成果的应用，以大力提高中高档数控机床的市场竞争力。

4）加强服务关键用户领域。只有产品具有真正的竞争力，才能在为重点行业核心制造领域提供装备和服务方面取得突破性进展。“十一五”期间，国内数控机床行业有很多已经站在了与国际高端供应商同一个竞争平台上，为主要用户领域甚至国际制造商提供了装备。例如，济南二机床有限公司在美国福特公司压力机生产线招标项目中，力排同行竞争者，一举中标，为福特公司美国两家工厂提供 5 条世界最先进的冲压生产线。产品只有在终端市场上接受检验，有较高的性能稳定性、可靠性和较低的成本，以及合理完善的服务，才能赢得市场，才具有竞争力。

此外，还要努力在航空航天、发电设备、船舶等其他重要领域关键部件的制造中有所突破，为其提供高端核心装备。为此，中国机床工具工业协会就此开展了一系列工作。例如：组织中高档机床重点领域用户的系列工艺培训班，通过培训促成行业企业与重点用户的深入交流与合作；组织行业企业间供需沟通、技术交流与协作攻关；组织行业专家对影响中高档数控机床市场竞争力的共性问题进行调研分析，为企业提供咨询意见，向政府提出政策建议等。

4.3 加强基础、共性技术的研究

数控机床产业不仅是基础工业的重要组成部分，也是保障战略性新兴产业健康发展的重要基础。在国家培育和发展以新能源、节能环保、生物医药、新材料、新一代信息网络、智能电网、海洋空天等技术为支撑的战略性新兴产业之时，以高端数控机床为代表的装备制造业是我国新一轮经济周期的带动力量，也是发展战略性新兴产业的中心环节。

随着我国低成本竞争优势不复存在，加快发展数控机床技术、复合机床技术以及机器人自动化生产线成套装备技术是我国参与全球范围产业竞争的必然要

求。数控机床行业正面临着市场需求形势的剧烈变化，对作为“工作母机”的数控机床工业提出了越来越高的水平和质量的要求，发展中高端数控机床，加强基础技术研究已经成为数控机床行业结构调整的主攻方向，过去长期重量不重质的状况将发生根本性改观。

国内数控机床的差距主要体现在加工精度不稳定、一致性差、故障率高、可靠性不好等方面。另外，产品服务能力方面也有很大差距。中高端数控机床，不仅仅包括主机性能的高参数，也包括产品的高质量，同时还包括为用户提供完整的解决方案的能力。数控机床企业一定要更加贴近用户，急用户之所急，深入研究用户工艺，争取做到又快又好地为用户提供各种个性化服务。

国家在“十一五”期间给予机床行业的支持力度相当大。从2006年开始，国家对装备制造行业开始重点关注，2009年启动了16个科技重大专项，与数控机床产业直接相关的专项“高档数控机床与基础制造装备”名列其中。“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项（简称04重大专项）规划投资221亿元，其中中央直接投资100亿元。该专项中，明确提出要重点发展7项数控系统、17项功能部件及关键部件，并将此与重点开发的8大类57种主机产品并列，足见该专项规划对基础技术研究的重视。在“十二五”机床行业发展规划中，一个主要目标就是推进数控系统和功能部件的产业化进程，在政府支持下，建立主机、数控系统、功能部件的有机结合体系，以缩小差距，赶超世界先进水平。

4.3.1 建立产、学、研、用长效合作机制

《国家中长期科学与技术发展规划纲要（2006—2020年）》提出，“要完善技术转移机制……促进企业之间、企业与高校和科研院所之间的知识流动和技术转移”。这是深化科技体制改革的重点任务，也是转变机制、优化环境、增强企业技术创新能力的必要环节。

产、学、研、用合作是指企业、高等院校和科研院所以及用户之间基于技术创新而进行的合作，是为了社会经济发展的战略性目的，协同各自拥有的资源，对科学技术及相应产品（或服务）共同开发；也是企业提高研究与发展能力，建立以企业为主体、以市场为导向、开放的科技创新体系的重要途径。

产、学、研、用合作必须以企业为主体，以市场为导向。“用”，主要指“应用”和“用户”，是技术创新的出发点和落脚点。用户直接参与产、学、研合作，不仅能够减少技术创新的盲目性，缩短新产品从研究开发到进入市场的周期，而且能有效降低技术创新的风险和成本。

世界许多国家和地区都把加强产、学、研合作作为一项重要工作来推动。联合国教科文组织倡导的“产学研结合计划”，对促进世界各国，特别是发展中国家的产、学、研联合工作起了重要作用。随着围绕市场、技术、资源、能源的竞争日趋激烈，产、学、研、用合作创新能力已成为一个国家和地区实现崛起的核心竞争力。

美国 1980 年出台的《拜杜法案》，明确政府支持的科研成果归所在单位所有，奖励发明人，对中小企业给予支持等，对释放美国的科技生产力起到里程碑式的作用。20 世纪 90 年代以来，日本先后制定《大学等技术转让促进法》《产业技术力强化法》《产学官合作促进税制》等一系列法律，加大产、学、研、用合作力度，推进技术创新，起到了很好的作用。

适应市场经济需求的以企业为主体、产、学、研、用相结合的技术创新体系的形成，将有效整合相关技术、产业和资源优势，形成合力，开展联合攻关，共同打造技术创新平台。具体做法如下：

1）政府应多为企业和院校搭建院企、校企合作平台，实现优势互补，切实建立以企业为主体、产学研用相结合的技术创新体系；多出台引导企业提高自主创新能力的相关政策，营造良好的宏观政策环境；帮助企业加强与国内外政府和企业的科技合作与交流；注重国外先进技术的引进、消化、吸收，并与自主创新能力的提高有机结合，在资金投入上予以大力的配套支持；发挥政府主导作用，充分利用各种资源，逐步建立以市场为导向的产、学、研、用支撑体系和长效机制。

建立产、学、研、用结合统筹协调机制。要积极发挥政府主导作用，瞄准需求，注重统筹协调。通过有力有效的沟通协调，消除障碍，理顺各个主体关系，利用各方优势并调动积极性，实现产、学、研、用的无缝链接。

制定产、学、研、用专项扶持政策。政府应根据产、学、研、用结合中多方参与的特点，在制定政策中应充分考虑各方需求与利益，保证各方利益，风险共担、知识产权共享，提高和保护产、学、研、用合作各方的积极性。

设立产、学、研、用合作专项引导资金。强化政府财政投入的引导和保障机制，积极探索科技与金融结合的新路子，建立健全以政府投入为导向、企业投入为主体、社会投入为补充的多元化产、学、研、用结合投入体系，不断加大科技投入的力度。

产、学、研、用及社会各方面力量要形成合力，共同促进数控机床产业发展。要把企业作为发展的主体，技术、科研单位作为依托，政府在宏观政策上予

以指导和扶持，社会中介力量提供高质量的服务，推进数控机床产业发展，把机床产业扶优做强。

在平台建设的基础上，推进产、学、研、用合作。发挥科技主管部门的优势，将教学单位、科研单位和企业及用户捆绑到一起，建立利益共享、风险共当的机制，建立教学单位或大学定向为企业培养人才的联合培养机制。

2）充分利用国家发展战略机遇期，以自主创新为动力，加速结构调整，迅速转变发展方式，做强我国数控机床产业。增强国防实力，提高军工、能源装备自主化水平，创新长效合作机制，全面推动结构调整和工业转型升级。

以产、学、研、用相结合为指导思想，共同建设创新平台，并共享创新平台资源与成果。立足于打造“自主、实用、经济”的技术成果，凝聚国内优秀的技术团队，由大学院校牵头攻克关键技术、由机床企业配合完成实机验证、由用户进行工艺应用，强强联合、资源共享、互通有无，从机床共性技术和关键技术等多方面、多角度探讨国内高档数控机床所面临的技术难题，形成自有关键技术和专利，有效地解决企业遇到的技术难题，为我国制造业企业提供创新型技术和产品，促使我国高档数控机床企业成长为国际著名企业，形成国际知名品牌。

3）产、学、研、用合作的关键在于突破产、学、研、用各自为政的壁垒，立足于社会发展和国家利益，将隶属于各个不同管理体系的科技人才和资源进行有机的结合，从而实现科研产出的最大效应。因此，推动和促进产、学、研、用结合，就必须进一步解放思想，解放科技人才，改变“先有成果，再找企业”的思维模式，进一步明确应用类科研要以市场为导向，紧盯需求，形成以企业为主体的“产、学、研、用”的合作机制，在与企业紧密合作的基础上实现科研创新和人才培养。

产、学、研、用合作往往不能通过市场行为自发解决，需要通过一系列法律制度来约束，确立必要的准则，规范约束合作各方的行为，界定各类合作主体的职责和权益，建立共同投入、成果共享以及技术、市场、管理等风险分担的机制，从而促进和推动产、学、研、用合作的健康、可持续发展。要鼓励企业从长远发展着眼，积极投入资金开发新技术、新产品。要对企业领导进行科技投入和技术进步的考核，提高企业参与产、学、研、用合作的动力。国家应通过相关法律、法规，制定产、学、研合作过程中的行为准则，保护知识产权。激励企业、高校、科研院所及用户积极参与合作，从国家长远利益出发，围绕企业技术发展的战略方向，以满足用户使用为最终目标，建立相对稳定的合作组织，摒弃技术

垄断，推动新技术、新工艺、新产品的应用，共同研究、开发，实现成果共享和利益共享。

4.3.2 建立共性基础技术创新平台

许多用户之所以青睐进口产品，并不是因为国内产品性能达不到，而是源于国内机床性能不稳定，质量无保障。尽管国产机床便宜不少，但国产高档机床易出现故障，甚至会因故障不断而让用户得不偿失。而在国产高档机床的质量事故中，基础元器件、功能部件和数控系统的问题是一大祸因，亟待加快改善。我国数控机床的技术水平与国际先进水平还有很大差距，尚需从功能部件和数控系统等基础产品领域着力提升，缩短差距。

要充分利用科技对外开放渠道和外资合作的资源，加大科技对外开放力度，设立专项科技转化资金，降低科技对外依存度，提高自主创新能力。对重大、共性关键技术的攻关予以经费支持，减少资助项目，增加资助强度，有所为，有所不为。做到典型示范、重点突破。加大人才培养力度，设立企业创新人才培养基金，培养大专院校、科研院所及企业的创新人才，实现企业是创新的主体。

1）开展可靠性设计，研发可靠性测评技术。推进数控机床的可靠性与精度设计，确定合理的精度裕度，加强全面质量管理，切实保障数控机床可靠性和精度寿命的提高。我国普及型加工中心和数控车床的平均无故障时间（MTBF）在20年中平均增加了3到4倍，但是由于汽车制造业对高效生产条件需求的不断增长，对机床提出了更高要求。

一般而言，数控系统（包括数控装置、伺服单元和主轴电动机及控制单元等）的故障率通常占数控机床总故障率的25%～40%。它的无故障运行时间的增长对数控机床的可靠性起重要作用。日本FANUC公司的数控系统经过10年努力，其返修率从1985年的11.5%（相当于MTBF为8.5个月）变成1994年的0.8%（MTBF为125个月），可靠性增加了13.5倍。

数控系统主要的故障模式为元器件损坏、主轴控制失调和伺服进给系统失调等。导致数控机床故障概率增大的原因分为如下三方面：① 数控系统和电气系统的电子元器件和编码器，检测装置等失效。② 自动化功能部件如自动换刀装置、回转刀塔和监控装置等失效。③ 动力源控制装置复杂，其电、气、液等控制阀和开关增多，使失效概率增大。

可见，数控机床可靠性涉及的因素多，需从设计、制造、装调、调试、测评和交验等整体流程予以控制改进，才可能获得可靠性的明显增长。

2）制定生产线可靠性设计的方法及评价指标。生产线中一台设备出现故障，将会导致线中其他设备出现次生停机（Secondary Downtimes），特别是当生产线按“串联”形式组织时，这种现象尤为明显。为保障生产线较高的利用率，对生产线的可靠性设计需要建立如下四项平台技术。

① 研究制订生产线潜在停机模式及危害性分析（DMEA）指导资料（手册）。

② 根据生产线的各工位布局和对利用率的要求，应用仿真技术得出各工位设备平均无故障时间（MTBF）和技术利用率（ATS）的合理指标。

③ 发展数控机床的潜在故障模式及后果分析（FMEA）技术，并针对故障特征，构建各类数字化工程分析技术的应用模型，实现对设备结构、制造与装配质量的优化设计。

④ 发展数控机床的基于可靠性的可维修性（RCM）设计技术，以减少其平均故障修复停机时间（MTTM）。

3）发展数控机床精度寿命设计技术。机床作为加工机器，其精度及精度保持性是一个核心指标。精度的变化主要取决于四个方面：① 摩擦磨损。② 间隙和预紧条件变化使动态特性下降。③ 热力作用引起热变形。④ 构件内应力释放使制造精度降低。为此，从这四方面着手，就能控制有损精度寿命的源头。

另外，其他需要研究的技术以及需制订的规范还包括：数控机床可靠性和精度寿命的测试技术，促进数控制造装备技术性能提升和可靠性增长的试验规范；有关敏捷化可重构柔性自动生产线的集成技术，全面优化生产线的规划设计；设定可靠性及精度寿命指标的预期目标等。

在预期目标方面，我国业界应能在 3 ～ 5 年内达到以下目标：① 对于设备而言，MTBF2000h；MTTM10h；机床能力指数 C_{mk}2.0；精度寿命 T_{mk}4 年（两班制）；② 如果是生产线，技术利用率（ATS）达 85%，工序能力指数 C_{pk} 为 1.67。

4.3.3 加强设计技术和应用技术研究

我国的设计水平、加工能力、工艺条件和资金环境都在逐步改善，但要真正达到国际水平还有很长的路要走，因为我国的制造能力还没能达到较高水平。国外较高的制造水平是建立在相当长的工业发展之上，经过不断改进细节才趋于完善。

简单地照搬别人的设计是不可行的，因为装配中有许多环节，还有精确度、检查项目等。机密的“Know how”不能完全掌握，但可以借鉴国外经验，例如

他们早在产品设计阶段就考虑如何让成品达到较高可靠性，并以此为标准来衡量设计的可行性和优劣。我们在借鉴的同时，一定要通过测评、分析来完成消化、吸收和提高。

专业技术的提升确实需要在整个制造业的发展长河中不断孕育。例如机床结构的设计就很专业，具体的结构设计往往相当困难，一定得做实验验证。

这些工作让单个企业进行技术攻关有一定困难，如果由学校做，在短短的教育培养间隙做此研究也并非易事。在德国，开发研究分为学校、研究机构和企业三个层次。一是企业本身很有实力，有自己的科研所和实验室；学校则负责把握新的思想和潮流；如果企业难以进行成果转化，还会有专业的研究机构来帮助完成成果转换。

现在大家都强调科研一定要以企业为中心，彻底将科研成果推向实用。可如果研究在 10 年、20 年后才能见效，就没有愿意支持的资金。这是现实问题，何况当前金融危机之下，机床行业更应该一步步地发展，不可能很多东西同时起步。企业如果看不到确实的回报，就很难爽快地去投资。启动攻关项目必须遵循一定的步骤，如果大家都涌入同一领域，每家的投入力度都不强，很多科研课题就会重复做，而实际上只有那些做到应用阶段的，才能看到一些成果。

从日本的经验看，几十年来在研究方面做了大量基础工作，见效虽慢，但影响深远。在我国，往往是产能遮住了人们的视线，现在有能力扩产的，就靠产量去竞争，而不是倚重质量。当然，我国也有学校在做研究，但市场要求研究的时间不能太长，短期内只能完成一些模拟性的东西，取得的是阶段性的试验性成果。从这个角度看，企业、学校各有所长，各有所短。

核心技术可以通过消化吸收经验获得，如装配上的秘诀，加工工艺流程中的精度管理等。但是存在同样的问题，即单独的零部件精度没问题，但装配在一起就不能满足精度要求了。归根结底还是设计方法的问题。所以，要不断地更新设计方法，现在的设计也都严格要求考虑动态设计、热能设计、可靠性设计。其实有些专业技术，在国外也不是所有的资料都公开，虽然基本原理是公开的，但实际予以评判的参数会有各种变化和诀窍在里面。

还可以聘请有经验的海外技术工程师来传授技能，在此基础上，自己再不断地在实践中摸索、验证。国内有一种现状是只要图样出来就行，以偏概全，这存在一定的问题，但也不能排斥这种方式，因为这是发展过程中的正常现象，也是缩短我国机床水平与国外机床水平之间距离的一个方法。

不容置疑的是，在产品制造的整个过程中，必须考虑周全，将设计和制作规范化，把影响控制因素逐步变成规范和标准的约束对象。工艺研究之所以很重要，是因为：只有把薄弱环节找出来，并按照一定的规范将工艺固定化、凝结在设备制造中，才能切实提高制造水平。推动产品工艺改进的根本动力是降低成本或提高收益。

值得借鉴的是，国外一直很重视设计，哪怕是一个元件的设计，也会用几种新工艺去尝试、推敲。我们应该重视设计环节。

4.4 推动工程化、产业化发展

近几年，国产机床总量增加很快，但市场占有率仍然不高，尤其是数控机床，目前高档产品绝大部分依靠进口，中档产品国外产品也占有很大份额。从行业总体来看，国产机床产业核心竞争力不强。

从2002年开始，我国成为全球最大的机床消费国和进口国。中国机床工具工业协会提供的信息显示，2011年，从世界机床强国日本和德国进口的金属加工机床金额较上年分别增长50.3%和40.0%；在中档产品方面，从我国台湾和韩国进口的加工中心金额较上年也分别增长23.7%和24.3%，关键的机床功能部件还是依赖进口。

中国已成为全球最大的机床生产国和消费国，但却不是世界机床强国。培育国产数控机床市场，促进国产数控机床新产品开发，推动国产数控机床工程化、产业化进程是当前数控机床行业的主要任务和奋斗目标。

目前，我国高端数控机床过分依赖进口，因此必须通过增强生产力来不断缩小与国际先进水平的差距，提高产品的稳定性与精确性。同时，必须在现代技术的导入和市场战略策划上多下功夫，以减少进口并增加数控机床在出口市场的竞争力。在进行技术革新的同时，必须贯彻现代安全理念。

近几年，创新成果频出。但与国际相比，国产机床在可靠性与精度稳定性方面还存在较大差距。这与缺乏好的制造工艺及手段不无关系，缺乏“细腻”，也就无法实现“精密的可持续”。

近几年，很多企业都加大了技术改造力度，更新设备，甚至于不惜重金购买进口高档数控机床。但好的设备仅仅是基础，还必须有好的工艺手段做支撑，需要懂它工艺的人员通过合理的切削参数、工艺设计来实现良好的制造。因此，对关键核心工艺技术的传承和创新，可以确保好的设计产出好的产品。而缺乏工艺

技术的创新，在很大程度上制约了可靠性及精度保持性水平的整体提升。

中国厂多人众，急需正确的方针、政策对数控机床的发展进行有力的指引。应学习美国、德国、日本经验，政府高度重视、正确决策、大力扶植。在方针政策上，应讲究科学精神、经济实效，以切实提高生产率、劳动生产率为原则。在方法上，深入用户，精通工艺，低中高档并举，学习日本，首先解决量大而广的中档数控机床批量生产，占领市场，减少进口，扩大出口。在步骤措施上，必须使国产数控系统先进、可靠，狠抓产品质量与配套件关，打好技术基础。近期重在打基础，建立信誉，扩大国产数控机床的国内市场份额，远期谋求赶超世界先进水平，大步走向世界市场。

我国数控机床产业化水平不高的因素有：① 产业结构不尽合理。主要是专业化水平不高；高档产品开发缓慢，市场占有率低；中档产品有一定产量，但竞争力不强；数控机床功能部件发展滞后，严重制约国产数控机床的发展。② 经济规模、生产率与发达国家相比尚有较大差距。生产厂点过多，生产率低，赢利能力差。③ 工艺装备陈旧，基础制造技术落后。行业装备数控化率平均仅为2% ～ 3%。原来生产普通机床的设备用来批量生产数控机床，在精度、效率和可靠性方面都难以满足使用要求，阻碍了产业化水平的提高。

为满足用户对数控机床性能越来越高和加工多样化的需求，数控机床应以高刚性设计为基础，推广模块化设计，并针对用户不同的需求特点进行专门化设计。环保设计和绿色制造应是努力的目标。机床可靠性不高除设计不完善外，很大一部分是制造和装配质量问题。应强化过程质量控制，规范装配和调试流程，提高产品出厂验收要求。重视整机和部件试验技术，进行可靠性考评，对设计标准及制造和试验规范的内涵要做得更细致和可量化。保证制造过程质量和精度的一致性对数控机床的性能稳定是非常重要的。应把已经有基础并有优势的产品做好做精，把相关产业做强，把品牌做出来。为汽车等生产线提供可用的机床，并且逐渐研究相应工艺和测试技术，最终实现能够成套提供生产线的目标。

调整数控机床产业结构，要在国家产业政策和行业规划指导下，充分发挥市场机制作用，以提高生产集中度和专业化协作为重点，按市场需求和经济规模组织生产，发挥规模效应，提高企业经济效益。要集中力量，重点突破，形成专业化、规模化、高水平的数控机床产业。要从质量、可靠性、服务等方面入手，创名牌、扩市场、争出口。具体包括下列几项措施。

1. 提高企业的技术与质量管理水平

技术的有效应用必须建立在良好的管理基础上。而技术包括了产品的研发、基础工艺技术研究、设备工程研究、工业工程研究、组装质量分析研究、试制和试生产工艺研究等方面。一个企业如果缺乏良好的管理知识和系统，企业可能连人才也无法培育和留住，连设备都选不好，连供应商的能力都无法评估准确，连自己的表现也无法了解清楚。企业管理的整个过程与质量是密不可分的。在20世纪初，日本企业的产品质量并不好，当时日本人崇尚中国的“上海货”。但是，到了80年代，人们争相购买日本企业的产品，日本产品成了优质产品的象征。日本企业生产的产品，从劣质到优质，间隔仅几十年，日本企业质量管理的成功是其奥秘之一。

日本企业质量管理的成功，得益于美国著名质量管理专家爱德华·戴明。1951年，日本设立戴明国家质量奖。该奖主要面向日本国内的制造企业，评奖标准非常严格，获奖企业每年最多2名，被日本国内称为“企业诺贝尔奖”。

爱德华·戴明的质量管理思想集中体现在PDCA（P——Plan，计划；D——Do，执行；C——Check，检查；A——Act，处理）循环上。

（1）计划阶段　制订在技术方面的设计开发计划，生产工艺计划等，找出最需要改进的问题逐项列出。

（2）执行阶段　实施计划、改进计划，并收集相应的数据。

（3）检查阶段　对设计、生产工程等方面进行检查，是否要改进；对改进的效果进行评价，用数据说话，看实际结果与原定目标是否吻合。

（4）处理阶段　如果改进效果好，加以推广；如果改进效果不好，则进行下一个循环。

PDCA循环的特点是：大环套小环，企业各职能部门及车间、班组、员工都可进行PDCA循环，找出问题以寻求改进；通过批评和自我批评，阶梯式上升，第一循环结束后，则进入下一个更高级的循环，循环往复，永不停止。爱德华·戴明强调连续改进质量，把产品和过程的改进看作一个永不停止的、不断获得小进步的过程。

技术上的成熟与否直接影响产品质量，技术是控制产品质量的源头。对技术的管理一是要有专业的知识；二是要有管理的方法。一个企业做好技术整合及技术—管理整合工作是十分重要的。如果管理者连“工艺管理”“设备工程”“技术整合管理”等概念都没接触过，往往会造成企业在产品的产业化过程中，质

量、工艺、设备 / 工具、设计各方面无法配合。例如：不良的工艺设计使生产问题不断出现；未掌握准确的工艺或不清楚设备的制造能力，就无法提供良好的设计规则，从而造成盲目地去调机尝试，不合理的改正尝试等。这都是造成企业浪费的因素。目前，我国许多企业缺乏技术应用和发展计划蓝图、缺乏生产模式的规划制订、生产线的设计和设备选型配置不完全符合产品和生产特性、员工的培训和能力不足、工艺参数和设备调整的混淆、工艺性设计不佳、工艺问题重复出现、大量的检查和返修工作，以及对产品使用寿命无法保证等。虽然有些企业也投入了不少的技术培训资源，但类似问题不断出现，追根究底，问题常出现在管理上。因此，在企业管理上必须有全面的质量管理思想（Total Quality Management，TQM）。

全面质量管理思想的内容如下：① 全面的质量，包括产品质量、服务质量、成本质量、设计质量、制造质量等。② 全过程的质量，指质量贯穿于技术、生产的全过程，用工作质量来保证产品质量。③ 全员参与的质量，对员工进行质量教育，强调全员把关。④ 全企业的质量，目的是建立企业质量保证体系。

可见，全面质量管理强调动态质量，始终不断地寻求改进方法，但是它没有规范化，没有统一的标准。20 世纪 80 年代末，产生了 ISO 9000 族标准。ISO 9000 是全面质量管理发展到一定阶段的产物，是全面质量管理的一部分。ISO 9000 与全面质量管理都是指导企业加强质量管理的科学途径。全面质量管理具有丰富的内涵，几乎涉及企业所有的经营活动，尤其是它包含了组织长期成功的经营管理战略，它是指引组织持续不断地以质量为中心，以全员参与为基础，坚持质量改进从而取得长期成功的管理途径。

持续改进是全面质量管理的重要思想，它将产品过程改进作为一种永不终止的、不断获得小进步的过程。持续改进是对生产要素——人、机、料、法、环进行的连续不断的改进，而 PDCA 是持续改进的重要工具。

技术管理和质量管理是企业管理的重要组成部分，企业对管理的要求和对管理的依赖性与企业的规模是密切相关的，企业的生产规模越大，劳动分工和协作越精细、复杂，管理工作也就越重要。一般地说，无论是技术管理还是质量管理，与管理者自身水平是分不开的。

机床企业要从设计源头抓起，包括制造、装配、验收、测评、交验和售后服务各个环节，确立制度化、规范化，使 ISO 9000、6σ 质量控制和精益生产观念得以具体贯彻。对关键件、组件和部件配置中间试验台，严格控制制造和装

配质量。

2. 重视标准化工作

标准化是国民经济和社会发展的重要技术基础。随着全球经济一体化进程的加快和我国社会主义市场经济的不断发展，标准化在推动技术进步、提高产品质量、促进产业发展进程中发挥着越来越重要的作用。标准已成为世界各国促进产业发展、推动对外贸易和规范市场经济秩序的重要手段，标准竞争已成为继品牌竞争之后层次更深、水平更高、影响更大的竞争形式。

我国国家标准 GB/T 20000.1—2002《标准化工作指南　第 1 部分：标准化和相关活动的通用词汇》中对标准的定义是："为了在一定的范围内获得最佳秩序，经协商一致制定并由公认机构批准，共同使用的和重复使用的一种规范性文件。（注：标准宜以科学、技术和经验的综合成果为基础，以促进最佳的共同效益为目的。）"。对标准化的定义是："为了在一定范围内获得最佳秩序，对现实问题或潜在问题制定共同使用和重复使用的规则的活动。（注 1：上述活动主要包括编制、发布和实施标准的过程。注 2：标准化的主要作用在于为了其预期目的改进产品、过程或服务的适用性，防止贸易壁垒，并促进技术合作。）"。

我国对标准化的工作越来越重视，科技部曾经提出"人才战略，专利战略，标准战略"，把"标准"作为科技战略提了出来。在 2006—2008 年，国家每年大约投入 2 亿～ 3 亿元来支持标准制（修）订工作。发达国家更是强势推行技术专利化、专利标准化、标准垄断化的战略路线，标准战略成为其向全球市场扩张的主要武器。在国际贸易中，有关国家出于商业利益考虑，经常会通过制订技术法规或修改标准等办法来设置贸易壁垒。由于时空的限制，一些国内的出口商可能注意不到这些变化，这样出口时就会遇阻，等到明白原因时，可能已经造成了损失或错失了机遇。因此，及时修订国内标准并采用国际标准，是打破和减少技术性贸易壁垒的重要措施之一。

现在，许多企业都非常愿意参与国际、国内标准化活动。制订标准，不仅可以让企业很准确地与市场的需求联系起来，还可以率先占领技术这个制高点，借助技术标准的优势，强化其在国内市场的经济、技术主导地位，并在国际市场上赢得更强的竞争力，引领整个产业的发展潮流，进而获得巨大的社会效益和经济效益。参与标准化活动，企业还可以充分了解国际国内该行业和产品发展的趋势，加大科技创新，从而提高其在行业中的影响力和产品的市场占有率，最终提升产业的核心竞争力。率先制订标准，率先推向市场、规范市场，一旦标准为市

场所接受，企业就获得一个绝好的保护自我发展的手段，也获得了到国内、国际市场竞争的强大武器。

从长远看，不能满足于被动地采用国家或国际标准，要积极创造条件，参与国际标准的制订，在国家标准委员会的统一领导和专业技术标准委员会的指导支持下，与同行企业一道，充分运用标准化手段，促进产品的竞争，在国际贸易中冲破贸易的技术壁垒，为我国产品顺利进入国际市场创造条件。同时，应设法提高我国标准在国际舞台上的地位，使我国更多的提案为国际标准采纳。

“当今世界，谁掌握了标准的制定权，谁就一定程度上掌握了技术和经济竞争的主动权。”科技部原部长徐冠华如是说。企业应积极参与国内外标准化活动，因为标准是企业通向国内国际市场的通行证，是企业树立品牌的基础。技术标准实际上已成为国际市场竞争中的无形壁垒，也成为优势企业占领其他国家市场的有力武器。标准不仅是产品技术的文本，也是检验产品质量的标尺，而且它也是推动产业发展的重要手段之一。产业越发达，标准的作用越大；标准与产业发展紧密程度越高，标准化与产业化的互动关系就越明显。

目前有这样一种说法：三流企业做产品，二流企业做品牌，一流企业做标准，显示了大家对标准化的重视程度，同时也说明标准化工作对企业发展的重要性。这并不是说企业做了标准就能快速发展了，而是说做好企业自己的标准及标准化工作，对于企业的发展特别是在规范技术和有效管理方面将起到促进作用，对提高生产效率和降低成本起技术指导作用。

近代标准化是在大机器工业的基础上发展起来的，各国标准化发展的主要动因是：提高生产率的需要；扩大市场的需要以及调整产品结构，实现生产合理化的需要等。为促进技术进步，改进产品质量，提高社会经济效益，我国于 1988 年制定并颁布了《中华人民共和国标准化法》，确定了标准化工作的任务是制订标准、组织实施标准和对标准的实施进行监督。国家鼓励企业制订严于国家标准或者行业标准的企业标准，在企业内部适用。

“十五”及“十一五”以来，国家加大了对标准化工作的支持力度，投入巨资实施标准化战略和技术标准体系研究；投入大量研发经费制订或修订一批国家及行业标准，推动了我国标准化事业的进步。各地也纷纷出台政策，对负责制订或修订国家或行业标准的企业给予奖励，激励企业自觉参与并重视标准化工作，以促进产品品质提升和产业化的发展。随着我国制造的产品越来越多地进入国际市场以及我国国内的消费需求逐渐扩大，人们对标准和标准化的重要性的理解越

来越透彻，因此也相应地更加重视起来。

但是，我国的标准水平总体比较落后，标准的要求也比发达国家低得多，基本上仅仅向国际标准看齐，部分基础标准、工艺标准、管理标准及安全标准等与国际标准仍差距较大，这些都将制约行业的有效发展，阻碍与国际接轨的步伐，影响产品和技术的进步。一些企业甚至基本没有适合自身发展的标准体系，对标准也是选择性地执行，反映到产品上就是产品稳定性和可靠性大打折扣。

所以，企业应结合综合标准化思路，建立自己企业的标准化体系，借鉴简化、统一化、系列化、通用化、组合化和模块化等标准化形式，制订先进适用的成套性技术标准，为企业发展和提升竞争力服务，应积极参与国内外技术标准的制订和修订工作，深化标准的技术内涵，提升我国在国际标准化活动中的话语权，向着自主创新、实现创造大国的目标前进。

3. 提升服务能力

面对新的市场需求形势，我国企业要着力提升中高档数控机床的市场竞争力，着力提升中高档数控系统和功能部件的配套能力，着力提升面向中高档市场的综合服务能力，要在市场上接受检验。机床产品需要有较高的性能稳定性、可靠性和较低的成本，才能具有持久的市场竞争力。

机床行业是为下游制造业提供工具的制造业，与用户个性化需求有高度密切的关系，其经营模式具有多品种、小批量、定制及成套供应的特点，在为客户提供产品的同时，还需为客户提供解决方案。在整个设备寿命周期之内，要求提供完整的服务和技术支持，数控机床行业的发展也应逐渐由单纯提供产品向提供产品及服务的方向转变。

制造企业希望得到的综合服务是机床供应商针对用户企业自身的工艺水平和加工要求给出的个性化服务。而稳定的产品质量是提供服务的前提，否则一台隔三差五就出现故障的机床，即使提供再好的工艺方案，再及时的维修，也会打乱生产节拍，给用户造成损失。

随着我国制造业的快速发展，国内制造企业对机床装备提供商的要求也逐渐发生变化。制造企业将使用现场的诸多技术问题和管理问题推向机床厂家，机床制造商作为服务者的内涵随之发生改变。在对用户的服务方面，国外先进机床企业不仅提供设备和维修，而且能为用户提供解决方案和工艺服务，并能够与用户在进行产品的开发时同步进行工艺和装备的开发。而在此领域，我国机床供应商还处于低端水平，单纯提供机床产品的传统服务模式仍占很大比重，向用户提供

整套高效加工方案的水平和能力与国外先进水平相比还有很大差距。国内机床企业要加强研究用户工艺变化需求的投入力度，主动熟悉用户企业生产各种零部件的制造工艺，深入了解用户购买机床的各项要求，有针对性地开发用户所需要的新工艺装备，通过提升为用户提供解决方案的能力来进一步增强国产机床的市场竞争力。

售后服务是我国机床企业比较重视的一项服务内容，交货周期短、维护维修方便快捷应该是国内企业与国外进口机床厂商抗衡的有利一面，但是现实情况却是：维修周期长、维修服务推诿拖延普遍存在。售后人员服务意识不强，缺少专业服务团队和人手不足等，造成了售后服务能力不强，严重影响了国产机床的信誉，使很多销售成了一锤子买卖，国产机床的市场竞争力也因此陷入低谷，给未来发展前景蒙上了一层阴影。这一点，一些国际先进机床工具企业在服务团队和人才培养方面的经验值得我们借鉴。一方面，国外机床工具企业都建有专门的技术服务团队，销售与服务分工明确，相互配合；另一方面，一些领先的机床工具制造商纷纷创建企业大学，如森精机大学、山特维克可乐满学院、阿奇夏米尔服务学院等，既可以培养自己的员工以提高他们的专业技术和商务能力，使他们更好地为客户提供服务，也能提高客户培训的质量，从培训机床操作者延伸到培训制造专家。

企业要改变营销理念，在售前服务中，不要寄希望于能以一种产品去应付用户多种不同的加工需求，而应针对用户的具体工艺要求，向用户推荐甚至量身定做其所需产品。在售后服务中，要努力兑现对用户的承诺，真正满足用户的要求。企业要做到在机床设计方案出来后与用户进行深入研讨，在产品设计和制造过程中双方也都保持经常性的技术协商，使最终生产出来的机床能够得到用户的认可。

提升综合服务能力，首先要健全服务体系，在市场开拓、成套服务等方面狠下功夫；加强对用户加工工艺的研究，变被动应付为主动服务；改变管理模式和管理机制，提高快速反应能力，运用信息化手段提高企业基础管理能力。此外，企业应自觉地把企业目标与国家战略紧密结合起来，主动承担国家责任和行业责任，应特别重视与用户紧密结合，深入研究和掌握用户工艺特点，努力成为用户工艺专家，应加速提升面向中高端市场的综合服务能力，完成由简单的商品提供者到用户工艺师的角色转变。

4. 创建新的“十八罗汉”

我国机床工具行业经历了连续十余年的高速增长，取得了令世人瞩目的成就。但是总体看来，行业整体仍然处于国际分工和产业链的中低端，过去的高速增长更多地依赖了国内市场需求的强力拉动、企业体制机制变革释放的发展能量、劳动力成本的相对优势以及国家产业政策的有力支持。

随着国际竞争加剧以及劳动力成本提高等，我国机床工具产业也将随之进入新的发展阶段。新阶段的主要特征将主要表现为理性的增长速度和全面的转型升级，竞争的焦点也从规模扩张转变为发展方式的转变。

走“专、特、精”的发展道路，是市场的需要、用户的需求，也是行业应该承担的历史重任。机床企业要紧盯市场和用户，通过自主创新去努力研发不同行业广大用户在转型升级中急需的专门化机床工具产品，从而全面提升企业自身的素质，在技术上取得突破，开拓市场，实现与客户的共同成长。

第一个五年计划时期，根据发展的需要，本着全国一盘棋的精神，国家参照原苏联专家的建议，确定了 18 个机床厂的分工与发展方向，后来称之为“十八罗汉”，为新中国机床工业的发展奠定了基础。

“十八罗汉”的诞生，形成了品种、门类齐全的机床制造核心企业，其产品发展主要基于：① 产品系列型谱；② 国外出现的新品种。

高端数控机床大多用于新兴产业，其制造工艺处于快速更新的状态，这就要求机床企业具备全面解决方案的能力，需要突破固守阵地的思维模式，建立新的服务观念。

希望我国能从以下方面产生新的“十八罗汉”，带领发展我国数控机床工业，从而推动制造业和战略性新兴产业的进步和成长。新的产业中，有服务于数控机床行业的，也有直接服务于制造业的，其产品也要以专业化、精密化、智能化为特征，以实用为目的，当制造业需要的时候，能很好地满足需求。

1）数控功能部件：自动刀具交换装置及刀库、数控转台、高性能主轴。

2）面向齿轮加工行业提供整体解决方案。

3）面向液压阀体类加工行业提供整体解决方案。

4）面向航空航天行业提供整体解决方案。

5）面向轨道交通行业提供整体解决方案。

6）面向能源及新能源行业提供整体解决方案。

7）面向电子行业提供整体解决方案。

8）面向模具行业提供整体解决方案。

9）面向汽车、摩托车发动机行业提供整体解决方案。

10）面向航空发动机行业提供整体解决方案。

11）面向叶片、叶轮等复杂型面零件加工制造业提供整体解决方案。

12）面向各行业专机应用提供整体解决方案。

13）磨削工艺研究及应用。

14）复合加工工艺研究及应用。

15）特种加工工艺研究及应用。

16）超精加工工艺研究及应用。

17）数控系统。

18）机床附件。

4.5 创新发展，实现跨越发展的目标

十七大报告中指出："提高自主创新能力，建设创新型国家，这是国家发展战略的核心，是提高综合国力的关键，要坚持走中国特色自主创新道路，把增强自主创新能力贯彻到现代化建设的各个方面，认真落实《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020）》，加大对自主创新投入，着力突破制约经济社会发展的关键技术。"技术创新政策备受各国政府重视，世界各国相继制定了关于技术创新的战略计划，重视从战略上构建相关机制，以提高国际竞争力。

我国现在是制造业大国，但不是制造业强国。我国出口那么多的产品，大部分的利润被外国人拿走，这是因为我国的制造业在整个世界经济的产业链中处在末端，缺乏核心技术，从而缺乏核心竞争力。因此，我国要想变成制造业强国，核心问题是提高我国的自主创新能力。通过自主创新，使我国的制造业走上一个更高的平台。

目前世界上公认的创新型国家有 20 个左右，包括美国、英国、法国、德国、日本、丹麦、芬兰、瑞典、韩国及新加坡等。这些国家的共同特征是：创新综合指数明显高于其他国家，科技进步贡献率在 70%以上，研发投入占 GDP 的比重一般在 2%以上，对外技术依存度一般在 30%以下。我国科技研发支出占企业销售收入的平均比重在 1%以下，美国、日本和韩国等国家的大多数企业研究开发经费占其销售收入一般都在 4%左右，德国更是超过 6%。在专利申请方面，国外 80% 以上都是技术含量比较高的发明专利，而我国只有 20% 左右。

自20世纪50年代以来，我国数控机床行业就开始与国外机床制造商合作生产或进行技术引进。国外机床制造商为了将其产品打入我国市场，也积极采取深度的合作生产方式，甚至直接在我国建厂生产，但在知识产权和关键核心技术问题上，所有国外制造商都不肯做出丝毫让步，致使我国虽经长期合作，但仍无法取得所需的核心技术。

1. 技术创新

日本的《机械工业振兴临时措施法》把着眼点放在扶持企业核心竞争力上，为企业建立“造血”功能，主要是加强设计规范、设计方法、基础工艺、制造工艺、试验规范等共性技术的研究。

设计和工艺没有经过充分试验和验证的经验积累，标准制订没有试验研究做基础，做出来的产品永远心里没底。应着力打造专业化制造平台，在不断满足顾客个性化需求的同时，提高自身的规模和专业化制造水平。加强新技术、新工艺方面的研究，逐步形成有分工、有协作、多领域、全方位的科研开发格局。应建立绿色设计和制造产品评价体系，积极制订企业标准、行业标准、国家标准，并将低能耗和低污染作为产品性能的评价内容之一。

我国数控机床的可靠性和稳定性与国外相比存在一定差距，导致高端用户弃国产而择进口。应推进公益性测试和评价基地的建设，创建可靠性和精度保持性测评中心，对整机、关键功能部件和数控系统的可靠性、精度保持性及抗干扰能力进行全面试验，以大量的试验为基础，积累试验数据，建立数据库，制订试验和测试规范，指导设计改进和制造工艺提升等，同时还可为产品标准的制订提供试验数据。

逐步推动工业化和信息化两化融合，通过大量试验数据的积累，确定数字化设计和分析的边界条件，与数学模型完美结合，完成数据库的建立，从而提高分析的准确度，提高设计水平。通过CAD/CAE/CAPP/CAM/PDM技术与ERP/SCM/CRM管理相结合，进而实现数字化制造。

建立用户工艺研究实验室，将产品的开发生产与用户需求和工艺结合起来，为用户提供整体解决方案，逐步提高应用技术能力，提升用户使用信心。建立以测评中心和实验室为基础的政府级公益性大研究院或技术中心，进行数控机床共性技术研究，推动数控机床行业技术及产业更快发展。

2. 管理创新

将管理延伸到客户和供应商，带动数控机床产业链的共同发展。实行全过程

供应链系统管理，减少管理层次，提高生产率，降低成本，缩短产品生产周期，从而把利润极大化，取得更好的经济效益。推动产业链竞争，提高数控机床整体水平，促进数控机床制造企业与供应商和用户之间建立起紧密的联合开发的产品制造体制。

我国数控机床行业普遍存在管理粗放的问题，部分机床厂虽然学习了国外的一些生产管理经验，但落实起来还有差距。企业应根据自身特点，探索建立规范化的生产管理创新模式，逐步推广精益生产的思想，贯彻 6σ 质量控制理念，实行 6s 现场生产管理，减小管理浪费，降低生产成本。

3. 服务创新

建立诚信体系，规范服务行为，保证数控机床行业健康持续发展。

服务创新是技术创新、业务模式创新、社会组织创新和需求、客户创新的综合，深入了解客户是服务创新的基础。优质的服务对帮助客户实现产品的效能具有极大的影响力，因此它将成为企业竞争的主要手段。要获得竞争优势，只有对服务进行创新，才是企业的制胜之道。服务创新是一种超越，既是对他人服务经验的超越，也是对自身传统的超越。

我国数控机床产品技术和功能的同质化越来越严重，仅仅通过提高产品质量、降低产品生产成本赢得竞争的空间越来越狭窄，因而服务成为企业进行市场竞争的重要手段。企业要在竞争中取胜，不能仅满足于被动地适应客户的要求，而应不断地创新服务，由被动地适应变为主动地关注、主动地探求客户的期望。

4. 人才培养

企业对于员工每年应制订培训目标和计划，根据不同层次的人员量身定做培训方案。同时，企业与大学密切结合，根据需求适时输送技术人员到大学深造，培养技术和研究的多面手，造就企业骨干和行业精英。这样可以稳定人员、默契配合，逐步形成独特的企业文化，依靠雄厚的技术基础和牢固的企业文化，提高创新能力和水平，步入培育人才的良性循环之路。应重视员工职业素质的提高和技术能力的培养，改进和完善师傅带徒弟的人才培养模式，实现规范的流程管理。

坚持以人为本，提高人员素质，培养各种专家人才。人是一切事业成败的根本，要重视人才培养、人才选择和人才使用问题，建立学习型企业，树立企业文化，加速培育新人，培训在职人员，举办各种技术讲座、训练班和专题讨论会，甚至聘请外国专家、顾问等。要创造吸引高层次、高素质人才创新创业的环境，

提高数控机床领域共性关键技术的持续创新能力。

5. 跨越发展的目标

到 2030 年数控机床整体技术实现突破并达到国际先进水平，重大成套装备及大型成套生产线系统集成水平大幅度提升。基本实现数控机床的产品结构调整，增强中、高档数控机床的国内市场占有率，提高为战略性新兴产业和制造业服务的能力。具体为：① 改变当前高端数控机床以进口为主的局面，使高档数控机床进口额降到 50% 以下。同时积极提高中档数控机床的性能、质量、可靠性和服务能力，替代进口，从而全面实现“十二五”规划目标。② 改变以价格为主的竞争局面，代之以产品的内在品质优势进行竞争，使国内市场消费金额占比达到 70% 以上。能够及时有效并高品质地为我国战略性新兴产业提供先进适用的数控机床。③建立健全数控机床产业体系，形成一批具有国际竞争力的产业集聚区和企业集团，拥有若干国际知名品牌，在产品结构性能方面有特色，实现产品精良化生产，增加出口的竞争能力，使出口占比成倍增长，数控机床的整体技术和制造水平进入国际先进行列。

第3篇

我国高端数控机床产业发展分析

第 5 章　我国高端数控机床产业发展方向

数控机床是发展军工、航空航天、汽车及轨道交通等国防工业和重要民生工业的最基本的装备。数控机床的发展对提高制造业的制造能力和水平，增强其市场适应性和竞争力具有强劲的推动作用。工业发达国家采取多种措施来发展自己的数控机床产业，以发展国家经济和提高综合国力。进入 21 世纪，我国为加快装备制造业发展的步伐，由国务院制定并颁布了 2006—2020 年中长期科学和技术发展的规划纲要和“十一五”发展计划，在宏观政策方面对数控机床产业予以大力支持。我国航天、航空、汽车、轨道列车、船舶、发电、钢铁、轻工、电子信息等工业正进入结构调整和技术改造，对机床尤其是数控机床的需求巨大，我国成为世界第一大机床市场，数控机床已成为机床消费的主流。

我国幅员广阔，蓬勃兴起的工业化发展以及巨大的消费需求，使我国已经成为一个机床大国。在消费额和进口额连续 9 年排名世界第一之后，2009 年开始，我国的机床产值也成为世界第一，超过了德国和日本。强大的市场需求使全球许多知名机床企业纷纷在我国建厂。他们所采取的策略是制造适应我国市场需求但不涉及其核心技术的产品，通过本地化的生产，以降低成本，提高主流中档机床在国内的竞争力，且仍保持在高端机床方面对我国实施有选择性的出口控制。而我国中高端机床一直不能很好地满足用户需求，丢掉了大片市场。主要因素一是机床运行可靠性和精度稳定性差，二是不能很好地提供成套解决方案，三是服务质量不高。导致了用户信心不足，企业底气不足，产业做不强。近几年，我国机床制造业取得快速发展，但主要是靠降低成本作为竞争手段，在关键设备尤其是关键功能部件的开发和研制方面与国外相比还存在很大的差距。国外企业通常都拥有自己独创性的技术，并将核心技术应用到产品中，而技术源于长期的积累，不易被仿造，在市场上具有极强的竞争力。因此，我国需要在研发方面投入大量的资金，还需要一定时间的技术和市场积累，才能迎头赶上世界强国，成为有创造力、高品质的机床制造大国。

展望“十二五”，我国数控机床的发展将努力解决主机大而不强、数控系统和功能部件发展滞后、高档数控机床关键技术差距大、产品质量稳定性不高、行业整体经济效益差等问题，将培育核心竞争力、自主创新、两化融合（工业化和信息化融合）以及品牌建设等方面提升到战略高度，实现工业总产值 8 500 亿元的目标。力争通过 10 ～ 15 年的时间，实现由机床工具生产大国向机床工具生产强国转变，实现国产中高档数控机床在国内市场占有主导地位等一系列中长期目标。

当今，工业发达国家始终致力于以技术创新引领产业升级，更加注重资源节约、环境友好、可持续发展，智能化、绿色化已成为制造业的必然发展趋势，智能制造装备的发展将成为世界各国竞争的焦点。从国内看，国民经济重点产业的转型升级、战略性新兴产业的培育发展和国家重大工程建设等，对装备制造业绿色化、智能化、服务化提出了新的更高的要求，并提供了巨大的市场需求空间。“十二五”期间，我国将重点选择航空装备、卫星及应用、轨道交通装备、海洋工程装备和智能制造装备作为切入点和突破口，集中力量加快发展高端装备制造业。

装备制造业是国家的战略性产业和工业崛起的标志，是制造业的基础和核心竞争力所在。而高端装备制造业具有技术密集、附加值高、成长空间大、带动作用强等突出特点，处于价值链高端和产业链核心环节，决定着整个制造业的综合竞争力，也是推动工业转型升级的引擎。作为高端装备制造业的重点发展方向和信息化与工业化深度融合的重要体现，大力培育和发展智能制造装备产业对于加快制造业转型升级，提升生产率、技术水平和产品质量，降低能源资源消耗，实现制造过程的智能化和绿色化发展具有重要意义。

5.1 高端数控机床的适用技术

以数字化为特征的高端数控机床是柔性化制造系统和敏捷化制造系统的基础装备，它的总的发展趋势是：高精化、高速化、高效化、柔性化、复合化、智能化和集成化，并注重工艺适用性和经济性。具体的适用技术可归纳为下列八个方面。

1）持续地提高经济加工精度。1950—2000 年的 50 年内，加工精度提升 100 倍左右，即加工精度平均每 8 年提高 1 倍。当前的普通机床加工精度已达到 20 世纪 50 年代的精密加工水平。以加工中心加工典型件的尺寸精度和几何

精度为例对比国内外的水平，国内大致为 0.008 ～ 0.010mm，而国际先进水平为 0.002 ～ 0.003mm。按上述统计规律分析，差距约为 15 年。

2）推进全面高速化，实现高效制造。在刀具材料和刀具结构不断发展的支持下，切削速度不断地提高。在实际生产中，车、铣 45 钢的切削速度由 1950 年的 80 ～ 100m/min，至 2000 年普遍达到 500 ～ 600m/min，50 年内切削速度提高了 5 倍。高速化加工的另一个特点是大多从单一的由主轴高速旋转形成的高速切削发展至全面高速化、高效化，这不仅要缩短切削时间，而且要力求降低辅助时间以及在信息技术支持下压缩技术准备时间。

3）复合加工机床促进新一代高效机床的形成。复合加工机床的含义是在一台机床上实现或尽可能完成从毛坯至成品的全部加工。复合加工机床根据其结构特点，可以分为工艺复合型和工序复合型两类。

工艺复合型机床为跨加工类别的复合加工机床，包括不同加工方法和工艺的复合，如车铣中心、铣车中心、激光铣削加工机床、冲压与激光切割复合加工机床、金属烧结与镜面切削复合加工机床等。

工序复合型机床应用刀具（铣头）自动交换装置、主轴立卧转换头、双摆铣头、多主轴头和多回转刀架等配置，增加工件在一次安装下的加工工序数，如多面多轴联动加工的复合加工机床和主副双主轴车削中心等。

复合加工机床具有良好的工艺适用性，减少了在制品的储存和传输等环节，有力地支持了准时制造（JIT），因此其研发已被给予极大的关注。

4）工艺适用性的专门化数控机床正不断涌现。通过对机床布局和结构的创新，使其对不同类型的零件加工具有最佳的适用性，避免通用机床在批量生产的条件下，一方面会出现不能发挥最佳性能的问题，另一方面又存在功能冗余的现象。

解决品种多样化与经济性的矛盾，对机床的模块化设计提出了更高的要求。近年来对并联机构机床和混联机构机床的研究以及对可重构机床（Reconfigurable Machine Tools，RMT）技术的探索，反映了对制造装备能更方便地实现个性化、多样化发展的一个追求。

5）智能化和集成化成为数字化制造的重要支撑技术。信息技术的发展及其与传统机床的相融合，使机床朝着数字化、集成化和智能化的方向发展。数字化制造装备、数字化生产线、数字化工厂的应用空间将越来越大；而采用智能技术来实现多信息融合下的重构优化的智能决策、过程适应控制、误差补偿智能控

制、复杂曲面加工运动轨迹优化控制、故障自诊断和智能维护以及信息集成等功能，将大大提升成形和加工精度，提高制造效率。

6）发展适应敏捷制造和网络化分布式的制造系统。回顾近 15 年来制造系统的发展历程，基本上遵循以下两个方向：① 在发展高速、高可靠性数控机床和物料输送系统基础上，增强制造系统的智能化和自治管理功能，以提高 FMC/FMS 的快速响应能力。② 发展兼顾柔性、高效、低成本和高质量且便于重构的新型制造系统，以适应不确定的市场环境。这类制造系统称为快速重组制造系统（Rapidly Reconfigurable Manufacturning System，RRMS），简称为可重构制造系统。其原理为通过对制造系统中设备配置的调整或更换设备上的功能模块来迅速构成适应新产品生产的制造系统。这就要求不仅设备和系统软件要具有开放性，而且硬件也要有开放性。

7）向大型化和微小化两极发展。能源装备的大型化及航空航天工业等的发展，需要重型立 / 卧式加工中心和铣车中心；同时，高精度加工技术和微纳米技术是 21 世纪的战略高技术，正在形成一个光学镜面、导光板模具、医疗器械零件等精密微细加工的产业，需要发展能适应微小型尺寸结构和微纳米加工精度的新型制造工艺和装备，从而形成机床向大型化和微小化两极发展的趋势。

需要指出的是，航空航天、IT 和国防高新技术的需求推进了超精加工技术及设备的发展。20 世纪 60 年代，美国开发出第一台商品化超精密机床，其加工尺寸精度为 ±0.8μm；70 年代，英国克兰菲尔德精密工程研究所批量生产的超精密车床，其加工的零件面形精度小于 0.1μm；80 年代，美国 LLL 实验室和 Y–12 工厂合作生产出大型超精密金刚石车床，其加工面形精度达 0.012 5μm，最大加工直径为 2 100mm。超精加工技术总的发展有如下三方面趋势：加工精度不断提高，加工尺寸不断增加，加工方法多样化。例如，由于晶片和光学镜片等硬脆材料加工的需要，超精密磨削和研抛以及非机械能的特种加工方法使加工精度可优于 0.005μm。

8）配套装置和功能部件的品种、质量日臻完善。不仅数控系统（含数控装置和伺服驱动装置）有专业化生产厂，凡关键的通用性功能部件如电主轴、刀具自动交换系统、滚动导轨副、直线滚动丝杠驱动副、双摆主轴头、双摆回转台和自动转位动力刀塔等在国外均有一些著名的专业化生产厂，这对保证产品质量、增长整机的可靠性和降低成本起着重要的作用。

完善的高集成度的专用电路系统的研发，仍是数控系统可靠性继续增加和结

构小型化的一项重要措施。

5.2 中国的制造业需要中国的高端数控机床来武装

众所周知，我国高档数控机床及功能部件严重依赖进口，这不仅与我国是世界上最大的机床生产国和消费国的名声不相符合，若长此发展下去，将制约我国制造业的自主创新发展，不利于我国向制造业强国转变。

机床作为工业母机，其发展程度直接制约一国制造业的水平。无论是飞机、轮船、火箭、卫星还是汽车、拖拉机、推土机等，所有的机械设备的主要零件都需要由机床来加工。尽管机床行业本身的产值在国民经济中的比重并不高，但美国、日本、德国等发达国家，都纷纷将其列为本国的战略产业，通过各种法律法规和政策予以保护、扶持，尽显其重要性。

我国的机床产业在企业技术底蕴、研发能力及产品质量、服务等方面，与发达国家还有较大的差距，这也是我国每年大量进口国外产品来满足制造业需求的原因。2011 年，国产数控机床产品在国内市场消费金额的占有率仅为 28%，虽然有国内外产品定价不对称的原因，但最主要的原因还是国内产品以中低档为主。数控机床中的高端产品，如五轴联动数控机床、复合加工机床和高精度数控机床等，我国虽然也有生产，但产量较低，质量远低于德国、瑞士、日本等机床制造业发达国家的同类产品，还不能适应制造业的高质量要求。

虽然近年来我国机床行业连年高速增长，特别是 2011 年，全行业更是达到了 30% 的高增长速度。但是，在国内机床行业高速增长的同时，基于制造业发展的需求，进口产品中高端产品比重增大，使进口数控机床的消费金额以更快的速度增长，导致国产数控机床市场份额多年来一直徘徊于 30% ～ 50%。我国机床行业的发展离不开国外的先进技术等各种资源，但更应在对外开放与产业安全中寻求平衡；否则，将不利于我国机床行业的成长，不利于我国制造产业安全。

因此，我国机床制造企业要加快企业改制与技术改造，加快行业内资源整合，通过并购逐步壮大自己的规模与实力，打好与外国企业抗衡的基础。政府应适时推出对机床行业的扶持政策，在遵守 WTO 有关协议的前提下，进一步完善支持我国机床行业发展的政策，以提高政策的系统性和有效性。

第二次世界大战后，日本为加速经济复苏与起飞，制定了《机械工业振兴临时措施法》，并坚持实行多年。该法规对机床行业的发展作出了详细、全面的规划，在日本机床业的振兴过程中发挥了关键作用。20 世纪 80 年代，美国政府为

保护当时在世界上处于萌芽期发展的本国数控机床产业，迫使日本、德国、西班牙等国就数控机床对美出口签订“自动限制协议”。此后，美国又全面实施制定新一代数控技术发展的计划（NGC 计划）。这些措施成功地支持了美国机床行业的发展，并使之跃入世界先进行列。2008 年底推行“欧洲恢复计划”以来，欧洲机床工业合作委员会就一直积极地落实执行该计划。在国企、私企中推行的 120 亿欧元的“未来的工厂”计划，对机床工业来讲是一支强心剂。欧洲机床工业合作委员会参与的这个计划是保障欧洲技术能有立足之地，并在今后欧洲投资的项目方面有决定性的话语权。2010 年 6 月，欧盟推出未来 10 年的经济发展战略，即“欧洲 2020 战略”，它是将欧盟转型进入一个智能化的、可持续发展以及具有包容性的高就业率、生产率和社会凝聚力的新经济战略模式，促进共同发展的计划。2011 年 11 月，欧盟又公布了一个名为“地平线 2020”的计划，呼吁欧盟 27 个成员国投资 800 亿欧元（1 080 亿美元），支持为期 7 年（2014—2020 年）的科技创新计划。这些政策的实施对各国机床行业发展起到了巨大的推动作用，同样也对我国的政策出台具有很好的借鉴作用。

为了推动我国机床产业由上而下的系统性的发展，国家从宏观上提出对机床产业发展具有推动力的政策、规划。2006 年，国家发布了《国务院关于加快振兴装备制造业的若干意见》，选择了一批对国家经济安全和国防建设有重要影响，对促进国民经济可持续发展有显著效果，对结构调整、产业升级有积极带动作用，能够尽快扩大自主装备市场占有率的重大技术装备和产品作为发展重点，加大政策支持和引导力度，从相关法律法规和标准入手，制定重点领域装备技术政策，调整进口税收、加大资金支持力度、调整出口政策，鼓励订购和使用国产首台（套）重大技术装备，推进企业主辅职能分离，以减轻企业负担，实现关键领域的重大突破。其中为数控机床产业确定的主要任务是“发展大型、精密、高速数控装备和数控系统及功能部件，改变大型、高精度数控机床大部分依赖进口的现状，满足机械、航空航天等工业发展的需要”。

我国“高档数控机床与基础制造装备”国家科技重大专项已于 2009 年正式投入实施，这对推动机床行业内企业的技术创新无疑起到了十分积极的作用。在综合考虑企业产品的市场地位、影响力和先进性，技术的独特性和独创性，未来市场发展空间等多种因素的基础上，集中优势资源有选择性地对行业内的一些关键技术难题给予有效突破，可以起到事半功倍的效果。以专项资金的投入来激活企业对技术研发的热情，以有限的资金推动更多的产业资源投入到技术创新的

活动中去，并实现技术成果在全行业内的共享，从而推动我国数控机床行业的发展，满足制造业越来越高的需求。

在“十二五”规划中，政府将发展大型、精密、高速数控设备和功能部件作为国家重要的振兴目标之一。随着一系列扶持政策的陆续出台，未来几年，我国机床行业有望在保持快速增长态势的同时，在质量和技术水平上得到较大的突破。

通过进一步深化改革，积极调整产业和产品结构，转变经济增长方式，增强自主创新能力，加快中高档数控机床及功能部件的研发和市场开拓，进一步提高产品质量和强化服务意识，提高全产业的综合竞争力，我国机床产业一定能够实现又好又快地可持续发展，完成由大变强的目标，使数控机床成为我国制造业的主要制造装备。

5.3 我国高端数控机床产业的发展方向

高端数控机床产业的重点发展方向应首先结合我国一些重点制造领域的需求，特别是战略性新兴产业制造领域的需求。主要有以下五个方面。

1）航空工业于2008年正式启动了大飞机项目。目前，大飞机项目的样机C919已经研制成功，预计将于2014年实现首飞，2016年投放市场。航空工业对机床要求之高几乎涵盖了现代机床的全部成果，包括高速、精密、高效、复合数控机床，五轴加工中心和电火花成形机床等关键制造装备，以及现代高效刀具。

2）我国是世界造船大国之一，现代造船业一刻也离不开大重型高端机床，如重型和超重型龙门镗铣床、数控落地铣镗床、五轴联动数控镗铣床、曲轴车铣中心、大型曲轴磨床等大量高档数控机床。

3）我国已经发展成为世界最大的汽车生产国和世界最大的汽车消费市场。汽车制造具有大批量生产的特点，需要大量的高速、高效、高可靠性的数控机床。汽车及其零部件生产企业是机床工业的最大用户，其消费金额约占我国机床消费总额的40%以上，机床工业随汽车工业的兴旺而发展，目前，发动机和关键零部件生产设备基本依赖进口。

4）能源短缺一直是制约我国国民经济发展的一个瓶颈。为此，中国电力工业将实施多元化能源供应战略。而发展电力工业，需要大量高可靠性、大规格、高刚度的数控机床，如重型数控龙门镗铣床、重型数控落地铣镗床、重型立卧车床、叶片加工机床和叶根槽专用加工机床等。

5）通用制造业，如模具、军工、电子、农业机械、工程机械、纺织机械、铁路交通等各行业在调整结构、转变发展方式和进行产业升级技术改造过程中都离不开对机床工具产品越来越高的需求。

上述五个领域所需的高端数控机床中，航空航天以及国防工业需要的各种高速、精密、大型五轴数控机床，目前大多采用进口机床，国产机床仅用于粗加工；造船和电站设备是我国制造业的强项，需要大型三～五轴数控机床和重型汽轮机转子铣车复合机床等，目前进口量也相当大；信息、电子和家用电器产业主要需要模具和中小零件制造用的高速精密加工中心、精密电火花成形和线切割数控机床，也是大部分依赖进口。我国现在的高档数控机床还不能满足国内制造业的需要，大量国外中高端数控机床被引进，不仅冲击着国内宝贵的市场，同时也抑制着我国机床技术的发展。数控机床生产企业只有主动投入，加强与用户密切沟通，深入了解用户需求，钻研用户工艺，才能为用户提供适用产品，切实满足用户的制造需求。同时我们应充分借鉴国外经验，大胆进行工艺试验，借重大专项之东风，充分发挥产学研用相结合研发模式的优势，抓住与用户合作的机会，共同做好产品研发，满足国内市场需求，努力开拓国外市场。

我国已连续 11 年成为机床消费额和进口金额世界第一，2009 年机床产值也跃升为世界第一。但是，几乎所有的高档数控机床产品依赖进口，而部分中档产品也是外企在国内建厂，成为依赖外资和技术的跨国公司的加工车间，只是实现了外国品牌的中国制造，但核心技术却被绝对封锁，导致一大半机床利润属于外资企业。对于低档产品，国内企业同质化生产，自相杀价，争相出口，形成恶性竞争，进入微利甚至负利状态。这种高端失守、低端混战的局面，缺乏创新产品，缺乏民族品牌，缺乏核心竞争力，不能满足我国成为世界制造强国的需要。除此之外，国际贸易借口环保、安全等壁垒，以及动辄采取反倾销手段制裁，使我国数控机床产品的出口之路愈加艰难。与此同时，人民币升值导致部分原材料价格上涨，劳动力成本上升，银行贷款利率提高，一些国家贸易保护主义抬头等，都将给企业出口带来困难。

因此，我国数控机床企业应加大研发力度，真正掌握核心技术，开发满足国内用户需求的适用产品，利用好外资并掌握关键技术，成为世界制造的基地和全球制造的合作伙伴。只有这样，我国数控机床才能具有旺盛的市场生命力，才能提高自身的市场竞争力，并给我国劳动力就业和国民经济的高速增长带来更大的机遇，有助于迅速提高我国数控机床产业的技术水平和企业管理水平，使其保持

可持续发展。

5.3.1 不同行业对数控机床的需求

航空航天工业以高精度、高可靠性和精度保持性、多轴控制为需求特点，要求提供适合多品种、小批量、生产良好、柔性，以及适合特种材料加工的工艺方案，并提供包括刀具、工艺方案、编程、软件、设备等在内的整体解决方案。飞机机翼、机身、尾翼等和发动机零件的制造需要大批高速五轴加工中心、龙门移动式高速加工中心、精密数控车床、精密卧式加工中心、多坐标镗铣中心、精密齿轮和螺纹加工数控机床等。另外，还需要大批精密、高速、中小型数控机床，如精密数控车床、精密数控纵切自动车床和车削中心、立卧转换五轴加工中心、高精度电加工机床、高精度万能磨床和坐标磨床等，并有虚拟制造的强烈需求。

造船工业急需制造柴油机体的重型、超重型龙门镗铣床和重型数控落地铣镗床、大型数控车床和车铣中心、大型数控磨齿机、大型曲轴车铣中心及曲轴磨床等。

汽车制造业需要大批高效、高性能、专用数控机床和柔性生产线，如用于发动机加工的以高速卧式加工中心为主的柔性生产线、曲轴加工专用数控机床等。汽车零配件生产需要大批数控车床、立 / 卧式加工中心、数控高效磨床和数控齿轮加工机床等，以及高效、高可靠性和加工稳定性、高精度寿命、环保、成套组装的装备。为保证稳定的加工质量，还要求关键工序的机床能力指数 $C_{mk} \geqslant 1.67$，工序能力指数 $C_{pk} \geqslant 1.33$。

发电设备制造行业需要重型数控龙门镗铣床、大型落地铣镗床、大型数控车床、大型精密磨齿机、叶根槽专用铣床和叶片数控加工机床等；输变电设备制造行业需要数控车床、加工中心、数控镗床以及变压器铁心数控冲裁设备等。

兵器制造业所需的数控机床更是量大面广，要求数控机床可靠、稳定。兵器制造业需要能适应大批生产的数控车床、立 / 卧加工中心、五轴加工中心、龙门镗铣床、铣镗加工中心、齿轮加工机床等。

轨道交通行业对数控机床的需求以大型及重型机床为主，精度要求虽不是很高，但切削载荷重，对功率、转矩要求大，故高可靠性也是必然要求。尤其对高速列车车厢覆盖件、道岔钢轨和大功率电动机等加工所需超长行程龙门加工中心、数控专用机床及复合机床需求强烈。

我国黑色金属冶炼及延压加工、有色金属冶炼及延压加工生产规模近年来稳定快速增长，随着我国成为制造业大国，冶炼行业仍有不断增长趋势。冶金设备

制造业重点解决连铸连轧成套设备的制造，需要大型龙门铣床、大型数控车床等设备。

工程机械制造业需要大批中小型数控机床，如数控车床、中型加工中心、数控铣床和齿轮加工机床等。

模具制造业需要高速数控铣床、三坐标测量机、精密电加工机床、高精度加工中心、精密磨床等。

电子信息设备制造行业需要大批小型精密数控机床，如高速铣削中心、高速加工中心、小型精密车床、小型精密冲床、精密和超精密加工专用数控机床及精密电加工机床等。

不同制造行业对不同档次的数控机床需求占比见表 5–1。

表 5–1　不同制造行业对不同档次的数控机床需求占比

机床档次 / 制造业	经济型（%）	中档普及型（%）	高档型（%）
汽车及零部件	29.7	36.6	33.7
航空航天设备	25.6	33.1	41.3
铁路运输设备	22.2	55.6	22.2
石化设备	12.5	69.6	17.9
电力设备	9.3	53.6	37.1
冶金设备	36.7	54.8	8.5
通用机械	27.6	43.5	28.9
工程机械	36.2	34.5	29.3
平均占比	25.0	47.7	27.3

注：本表数据根据《现代制造杂志》中“弗戈 2009 年度市场调研报告分析”得出。

5.3.2　我国数控机床产业发展的基础工作

我国数控技术自 20 世纪 50 年代末期起步，经历了“六五”“七五”期间的消化吸收、引进技术，“八五”期间建立国产化体系，“九五”期间产业化，“十五”期间的高速发展及“十一五”期间国家重点扶持的大发展，已经基本掌握了现代数控机床设计和制造技术，建立了数控机床开发、生产基地，培养了一批数控机床专业人才，初步形成了自己的数控机床产业，并且在产量、产值和消费上都已跃居世界第一位。但是从技术发展的角度看，我国数控机床总体上还是

处于形成期和成长期，只有经济型数控机床步入了成熟期。

数控机床产业的技术发展重点是：① 提升产品技术内涵和品质可靠性，提高服务质量并拓展服务范围，降低成本。② 深入研究用户零件加工工艺和需求特点，开发满足用户需求的高性能数控机床。③ 加强创新平台建设，推进自主创新能力，提升产品市场竞争力。

数控机床产业的发展方向是高端、高效、高辐射力。即：产品的发展应以具有高附加值的中高端产品为主，技术发展应以高效、精密、高可靠性为目标。由于数控机床产品服务范围广，产业链辐射的劳动力市场巨大，对国家经济发展具有稳定和促进作用，因此，在当前产品发展上应统筹规划做好以下六方面的基础工作。

（1）保持现有产品技术发展的引领态势　我国从20世纪50年代开始，逐步引进了许多产品和技术，包括精密车床、精密大型及重型数控龙门铣床、精密立卧式加工中心、精密磨床、精密电加工机床等。应继续发展现有优势产品，通过改进设计、规范生产管理、严格质量控制程序等手段，把产品进一步精化，提高用户使用信心。同时，要发展节能、环保、可靠、高效和高性能的产品，逐步实现替代进口。

（2）功能部件产业化　主轴、刀库、工作台、刀塔、滚珠丝杠、导轨等是数控机床需要的关键功能部件，应继续提高技术水平，强化试验测评，完善质量管理，并通过支持引进关键加工设备来提高产品质量和实现规模化生产，进一步推动功能部件标准化和系列化设计并形成产业化，同时积极应用新技术，以期使功能部件结构简约且耐用、可靠，以满足我国数控机床产业的需要，替代进口，降低成本。

（3）提高数控系统整体水平　我国的数控系统技术水平和产业化能力相对薄弱，大多数产品仍不能满足中高档数控机床的需要，应花力气进行关键技术的突破，重视试验验证，发展全数字化伺服电动机驱动控制，并与数控装置进行无缝集成，实现成套提供。

（4）重点发展成套技术　汽车产业是国家经济发展重要的支柱产业，有专家认为，在可以预见的未来10年甚至更长时间内，传统的燃油汽车仍将占主导地位，因此为汽车动力总成和传动总成配套的生产线应加紧分步研发。这就要求提供功能、精度、效率、可靠性适用的机床，深入研究加工工艺和测试技术，最终实现成套生产线提供，逐渐替代进口，提高国产化能力。这将对提高数控机床总

体性能和实现产值增长具有明显的作用。

（5）推动工作母机的研发和应用　我国数控机床主要零件，如精密主轴及其箱体、导轨、中小型齿轮、蜗杆副等关键工序的加工设备几乎全部依赖进口，国外已逐渐对我国高精度工作母机的进口实行限制，且在技术上绝对封锁。国家应鼓励企业通过产学研用相结合，以机床厂自身为用户进行有针对性技术改造的开发，将可取得事半功倍的效果。通过对平衡技术、静压技术、误差补偿技术、抑制振动技术、热稳定技术、反馈技术等的深入研究，结合高精度零件加工工艺和装配工艺的研究，强化制造过程的零部件性能试验，从而突破工作母机关键技术，同时还可带动整个数控机床产业技术的飞跃式发展。

（6）突破复合加工技术　复合加工机床是当前世界机床技术发展的热点。在保持工序集中和减少工件重新安装定位的总的发展趋势中，复合加工可使更多的不同加工过程复合在一台机床上，从而达到减少机床和夹具，免去工序之间的搬运和储存，提高工件加工精度，缩短加工周期和节约作业面积的目的。这不仅能够满足用户在减少占地面积、减少零件传送和库存、保证加工精度等方面的需求，而且也适应了现代社会的节能减排要求。目前，越来越多的复杂零件采用复合加工机床进行综合加工，复合加工机床成为各国机床制造商开发的热门产品。在复合加工机床的发展中，机床厂家、刀具厂家、软件厂家及用户之间需要通力合作，不断研究并解决问题。通过复合加工机床的应用工艺的研究，将进一步推动机床企业重视与建立新加工方法和新工艺的研究，为开拓自主创新提供源泉。

5.3.3　重点发展的高端数控机床产品

高端装备制造业的发展水平是一个国家核心竞争力的体现，涉及国家经济和国防安全，也关系到相关产业和企业的生存和发展。鉴于高档数控机床和基础制造装备对我国装备制造业发展的关键支撑作用，《国家中长期科学和技术发展规划纲要 2006—2020 年》明确将“高档数控机床与基础制造装备”列为国家 16 个科技重大专项之一。“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项重点开发航空航天、船舶、汽车制造、发电设备制造等行业所需的产品，其目标是：到 2020 年形成高档数控机床与基础制造装备主要产品的自主开发能力，总体技术水平进入国际先进行列，部分产品国际领先；建立起完整的功能部件研发和配套能力；形成以企业为主体、产学研相结合的技术创新体系。

我国高端数控机床、高档数控系统及功能部件基本上都是从国外进口，其在高速和高精度运动控制上，以及在五轴加工和智能化方面都优于国内产品，而且

其平均无故障时间是国内产品的几倍。国内机床企业应通过不断修炼内功，提升自身企业的竞争力，在关键零部件和核心技术方面，经过一定时间的积淀，要真正有所突破，占领我国高端数控机床的市场，并替代进口。

一个完善的制造系统一般应满足下列三项基本要求，即：保证零件加工质量；应用最适宜的加工条件；具有最佳的零件加工成本。数控机床产品的发展方向也应以满足这三项基本要求为前提。根据市场的需求和国内机床现有的技术基础，列出了重点发展的高端数控机床产品（表 5–2）和为发展高端数控机床所必备的共性、基础支撑技术（表 5–3）。

表 5–2　重点发展的高端数控机床产品

机床种类	技 术 特 点	适用范围
精密数控车床及车削中心	整体式铸铁或人造花岗岩床身可实现重载切削和精密硬车，带副主轴可扩展加工范围，实现双面复杂加工；带动力刀具的 Y 轴可实现偏心钻削和铣削加工；带自动控制尾座可提高加工灵活性；采用双刀塔或多刀塔可提高柔性，缩短辅助加工时间；多主轴设计可提高生产效率。 主轴径向圆跳动公差为 0.2μm，C 轴重复定位精度为 2"，加工圆度公差为 0.5μm，表面粗糙度值为 R_a0.15μm，定位精度 A1μm，重复定位精度 R0.5μm	主要满足航空航天、汽车、工程机械、纺织机械、电子工业、仪器仪表、液压气动零件加工等领域的需要
高精度数控镗铣床及高精度立 / 卧式加工中心	直驱回转工作台，精度高，速度快；带自动交换装置的刀库，可实现快速准确的换刀，换刀时间≤ 0.9s；大功率电主轴，转速可达 8 000~50 000r/min，中心冷却压力为 150bar[①]，具有温度场平衡措施，可用于重型切削、高速切削及铝合金材料加工；托盘交换，实现最大的生产率。 ≤ 400mm，定位精度 A1.5μm，重复定位精度 R1μm，反向间隙 B0.5μm； ≤ 800mm，定位精度 A2μm，重复定位精度 R1.5μm，反向间隙 B0.5μm； ≤ 1 600mm，定位精度 A3μm，重复定位精度 R2μm，反向间隙 B0.5μm	主要满足汽车发动机缸体、缸盖及航空航天、模具制造等行业复杂结构支架、壳体、箱体、轻金属材料零件和精密零件加工需求

（续）

机床种类	技 术 特 点	适用范围
大重型数控机床：数控落地铣镗床、数控龙门镗铣床和龙门加工中心、数控卧式车床及立式车床等	模块化设计，龙门式结构，精度高，动态性能好；数控回转工作台和数控 *A*/*B* 轴，实现高精度和复杂零件的加工；静压导轨，保证加工精度，静压控制滑枕，适应于大型工件的重型切削；机床具有高精度、高刚度、高承重和高耐用性，结构紧凑；带主轴单元更换装置，扩大加工范围；既可用于高效粗加工，也可用于高动态精加工。 整体式床身设计，超大尺寸线性导轨，齿轮传动机械式主轴，高接触刚性的夹紧系统等，实现基础和结构高刚性。 1 000cm^3/min 以上的钢件切削能力	满足航空一体式结构件、汽车模具制造、机床基础件加工、舰船主机制造、重型机械制造、大型模具加工、汽轮机缸体、风能设备、发电设备等大重型零件加工需求
数控磨床：数控万能磨床，数控内外圆磨床，数控平面磨床，数控曲轴磨床和凸轮轴磨床，数控立式磨床，数控坐标磨床等	高刚性大功率磨削主轴，全封闭静压导轨，保证长期稳定运行；配置 ATC 装置，提高生产效率；矿物质铸件整体床身，提高抗振性和热稳定性，防止扭曲；两个或多个砂轮轴，提高生产率；配置在线测量系统，加工安全可靠；配置油雾净化装置、防燃爆系统，安全环保。 一次装夹完成粗精磨。砂轮头架带自动平衡系统，高速磨削主轴速度达 140m/s，加工精度表面粗糙度值达 R_a0.05μm，磨削圆度公差为 0.2μm，直线度公差为 3μm/1 000mm，重复定位精度为 2μm	满足机床工具行业、航天军工、涡轮机行业、汽车零部件行业、能源工业、轴承行业、液压件行业等行业精密加工需求
数控齿轮加工机床：数控滚齿机、数控磨齿机等	双工件主轴结构，节省上下料装载时间，提高加工效率；最高磨削主轴速度达 140m/s，磨齿精度 3 级以上，滚齿精度 4 级以上	适应于各种齿轮、蜗轮、蜗杆的精加工

（续）

机床种类	技 术 特 点	适用范围
数控电加工机床：大型精密数控电火花成形机床、数控低速走丝电火花切割机床、精密小孔电加工机床等	良好的机械结构保证稳定的几何精度，数控线切割机床具有高速自动穿线系统，切割电极丝最 小直径≤ 0.05mm，最佳表面粗糙度值为 R_a0.1μm，单边直线度公差为 2μm /60mm，切割效率≥ 400mm^2/min。 数控电火花成形机床型腔截面和深度的尺寸精度≤ 2μm，超精细加工表面粗糙度值为 R_a0.1μm；具有自动电极更换装置，主轴可旋转，带 *C* 轴，五轴联动，配 *A*/*B* 旋转工作台。	主要满足大型和精密模具加工、精密零件加工、锥孔或异形孔加工及航天、航空等行业的特殊需求
数控金属成形机床类（锻压设备）：数控高速精密板材冲压设备、激光切割复合机、数控强力旋压机等	计算机数控系统的伺服反馈过程控制能进一步提高冲压件的精度、表面质量，并具有节能的优点；大型数控伺服压力机最大冲压力≥ 10 000kN，重复定位精度≤ 0.05mm。 数控轨迹成形滚压机应用滚轮按运动轨迹逐点成形，不需模具即可灵活改变汽车轮毂的形状，且因逐点滚压加工，所需电动机功率很小。 复合成形机床是一种高效加工设备，主要用于复杂的薄板冲压、折弯成形件，如经回转头冲模或直线排列冲模冲压后，再经多向折弯机形成各种形状箱体，一般配有自动上下料的物料输送装置或机器人输送装置	主要满足汽车、摩托车、电子信息产业、家电等行业钣金批量高效生产需求，汽车轮毂及军工行业各种薄壁、高强度、高精度回转型零件加工需求
数控专用机床及生产线：柔性加工自动生产线（FMS/FMC）及各种专用数控机床	标准化、模块化设计，用不同模块和专用软件实现多功能加工，提供最大的设计柔性；可重构性，高设备利用率，低投资成本；追求最小的单件成本和生产率的最大化；机床前部和顶部上料，易实现柔性自动化；有滚道上料、手动上料、桁架机械手上料和机器人上料多种形式。工艺能力指数 C_{pk} ≥ 1.67	该类生产线是针对汽车、家电等行业中的缸体、缸盖、变速箱箱体、离合器壳体、曲轴、凸轮轴、连杆等及多品种变批量壳体、箱体类零件加工需求

（续）

机床种类	技 术 特 点	适用范围
五轴联动及复合加工机床：车铣复合加工机床和铣车复合加工机床	结构设计紧凑，占地面积小；不同回转轴和摆动轴的组合，可实现加工领域最大的灵活性，加工出光顺的表面质量和微米级的轮廓精度；直驱摆动铣头和直驱摆动工作台，液压夹紧，快速且平稳，精确地对主轴进行分度，实现车铣复合加工，达到高精度和高效率。 定位精度≤5μm，重复定位精度≤1μm，可进行车、铣、斜孔钻加工及在线测量、*B*轴联动车削、插齿、滚齿、偏心轴径向铣削、内部深孔车、镗、铣加工和磨削加工；可以通过采用第二副主轴及多刀塔来进一步提高生产效率；独特的软件配套，可实现在线测量和误差补偿。 减少了装夹时间和成本，避免由于装夹和找正带来的误差，提高了加工质量	适应于航空航天、能源领域的涡轮叶片、叶轮叶盘的加工；医疗器械领域的植入件加工；模具行业、刀具行业、机械制造行业复杂零件的加工等。 车铣复合：如飞机起落架、叶轮、航空发动机喷嘴、惯性导航零件、远程精密控制零件等。 铣车复合：典型零件如飞机起落架、喷气发动机轴、大型柴油机曲轴、凸轮轴、连杆、活塞、印刷机辊筒及阀体等
超精及亚超精数控机床	超精机床：天然花岗岩整体床身，高性能气浮隔振系统；超精密空气静压主轴，确保高回转精度；高精度气体静压导轨，保证运动的直线性和平稳性；专用数控软件实现超精密加工；加工检测一体化，提高效率。 主轴回转精度≤0.05μm，运动轴直线度公差为0.1μm/200mm，加工面形精度≤0.1μm，工件表面粗糙度值为R_a5nm，最小移动控制量为1nm，定位精度≤0.2μm。 亚超精机床：天然花岗岩整体床身，具有优异的减振性，高刚性及高热稳定性；静压主轴和静压导轨，具有高运动精度，无磨损无爬行，持久保持高精度，可实现硬车削。 主轴回转精度≤0.1μm，运动轴直线度公差为0.4μm/200mm，加工形状精度≤0.25μm，工件表面粗糙度值为R_a0.01μm，重复定位精度≤0.2μm	超精机床主要用于光学零件模具、微机电系统、激光反射镜、太阳能镜片等的光学平面、外圆面、球面及非球面、多面体、任意曲面的超精密加工，用于医用骨关节球头加工，超高精度球阀加工，超高精度惯导关键零件加工。 亚超精机床主要用于各种硒鼓、OPC鼓、光学鼓形滚轮等的高精度切削加工，还适应于高精度汽车零部件、丝杠螺母、液压件、轴承及滚子等的高精度加工

① 1bar=10^5Pa。

表 5–3　为发展高端数控机床所必备的共性、基础支撑技术

先进技术	解 决 途 径
床身等基础件高刚性、高抗振性、高稳定性	采用混凝土聚合物即人造花岗岩材料，这种材料的阻尼特性超过灰铸铁 6 倍，热稳定性超过灰铸铁 20 倍
高刚性及热平衡结构设计	龙门对称结构实现持久的热稳定性；三点支撑整体床身的高刚性结构设计，可实现极大的稳定性和高重复精度，机床安装调整方便，紧凑结构，降低成本；最佳的人体工程学特性设计，易于趋近，操作舒适；框中框结构，双驱动设计，振动小，刚性大；运动部件质量小，动态精度高；缩短悬伸量，可达到高的动态稳定性；机体内有循环冷却油的温度控制系统、封闭温控外罩等，维持稳定的高精度加工
静压技术	静压导轨、丝杠、主轴是由自补偿带压力的流体作支撑，不仅使运动平顺，且油膜的吸振性使系统的动态刚性大大提高。在一般情况下，采用静压导轨的机床的刚性是传统线性导轨机床刚性的 4 倍
安全环保技术	为了防止机床加工时所产生的噪声，日本马扎克公司设想的未来机床是安置在一个密封容器之中，声波基本上均被隔绝掉，加工切屑也由吸屑装置抽出机外。德国生产龙门加工中心的 handtmann 公司甚至将整个长工作台都笼罩在盒式罩壳之内，罩壳是一节一节的，随工作台移动可伸长或缩短，这样切屑和切削液就不会接触到人，也保护了环境。另一方面，通过噪声分析技术可以有效监控和防止运动部件的碰撞。 减少运动质量，降低磨损；顺畅地排除切屑；优化切削力配置，待机低功率消耗（切断电源，关闭照明等），降低能源消耗；通过电能回馈功能实现节电；通过定期维护提醒功能，缩短机床停机时间；脂润滑或微量润滑具有维护方便，环保低损耗，有效降低机床使用成本；发展高响应变频调速技术，不仅可用于待机时降速节能，而且可利用其转速微调技术抑制切削、磨削时振颤
并联技术	并联机床是机器人技术与机床结构技术相结合的产物。德国 DS 公司的 Z3 并联运动加工头利用并联机床的原理，为高速高效加工航空工业的型框、翼肋、长桁等开发了新颖的多自由度运动主轴系统，对于高性能的复杂型面的加工，具有结构轻巧、编程方便等特点。目前 DS 公司配置 Z3 铣头 ECOSPEED 系列的加工中心在航空加工市场占有率极高。瑞典 NeosRobotics 公司生产 Tricept 型并联机床 300 余台，在以波音、通用汽车为代表的航空和汽车工业有较广泛应用。哈尔滨量具刃具集团有限公司（以下简称“哈量集团”）生产的 HLNC5001 型并联加工中心用于汽轮机中小型叶片的加工，效果很好。EXECHON 开发的新“金字塔形移动的三脚架机构”，具有 7 个关节点和 10 个自由度，配合串联结构的两轴回转主轴，便形成了 3 个空间自由度和 2 个方向自由度的五轴加工单元，其结构更简单，加工范围更大

（续）

先进技术	解 决 途 径
复合加工技术	奥地利 WFL 公司首推铣车复合加工中心 Mill-Turn 系列产品，使曲轴等复杂回转体零件的车、铣加工在一台机床上高效加工成为可能。日本山崎马扎克更是致力于倡导复合加工的著名公司，已发展了以“INTEGREX”（其含义为完全加工）命名的系列产品，包括四个系列的铣车复合机床和三个系列的车铣复合机床共 46 种规格产品，以适应不同类型的零件加工需要。 继车铣复合加工中心之后，以铣削功能为主，兼备车削功能的加工形式，称之为车铣复合加工中心也研制成功。车铣复合加工中心的基本形式是在加工中心上，加上车削主轴来完成铣车加工。主要产品有德国 HAMUEL 公司的 HSTM 系列，德国 DMG，瑞士 Willemin-Macodel、BUMOTEC 等的车铣复合加工中心，这些机床擅长棒料六面体零件和箱形、机盒壳体类零件的铣削与车削加工。 此外，由外圆、内孔和端面三类磨削方式集成的磨削复合加工机床以及车磨复合加工机床等产品也相继出现，成为高效数控机床的发展方向。 在金属成形领域，由于高效加工的需要出现了复合加工，其形式主要为冲压与剪切相结合、冲压与折弯相结合或者剪折冲三者相结合，近年也已将激光加工手段融合进来了。目前成形加工的发展方向是从单轴伺服到多轴伺服，加工工艺也由单一到复合，机床的工作台甚至可以进行挠度自动补偿，定位机构能保证板材的精确送进并配有自动上、下料装置。 超声振动加工和车 / 铣加工的结合。从原理上讲，由于超声振动不直接进行切削，但它起着改善切屑形成过程的辅助作用，对脆硬材料的加工，可提高生产效率、制造精度和表面质量。 复合加工技术正处于方兴未艾阶段，但需注意以下两点：① 充分了解被加工零件的工艺特点和生产批量，避免由复合引起机床功能的冗余。② 复合机床的结构宜本着集约设计原理和可重构技术，防止功能部件的堆积

（续）

先进技术	解 决 途 径
可靠性和精度保持性技术	可靠性和精度保持性是评定数控机床可用性和耐久性的两个关键性能指标，由于涉及到结构设计、材料特性、制造品质和使用维护等一系列因素，测评难度较大。传统的方法是，对数量较多的产品对其在现场使用情况进行统计分析，以确定其平均无故障时间（MTBF）和精度寿命（T_{mk}）。但它是一种追溯性的评价方法，虽有效但延续时间较长。为了及时完善新产品的性能，以提高其市场竞争力，需要：① 发展可靠性与精度保持性的快速测评技术，以掌握其达到的水平以及需改进的主要部件和元器件及相关制造装配工艺。② 构建试验台加强对数控机床关键功能部件的可靠性和精度保持性的评价和分析，以消减其薄弱环节。③ 发展智能型计算机仿真概率分析建模技术。在失效模式与影响分析和实效因果分析基础上，应用数值仿真建模技术，在专家系统人工智能决策下，实现数控机床可靠性和精度保持性优化设计
自适应技术	对于系统无法预知的变化，能自动地不断使系统保持所希望的状态；在加工过程中，系统中的切削参数自动适应加工状态的变化；通过监控主轴的功率、转矩变化来调节进给率或进给速度；通过切削力和声音等监控，可自动匹配各种加工情况下的进给量
智能化技术	可视化编程、碰撞监控、干涉检查、热变形控制功能，端面恒速切削控制、恒转矩进给量控制、复杂型面的表面光顺度的控制、运动平稳性的跃度控制、伺服进给系统的振荡抑制、热位移控制以及防碰撞控制等，系统的故障判别、刀具的寿命管理以及生产调度的优化策略等。下一阶段智能化发展需要加强对适用于数控机床的人工智能基础技术的研究。包括：① 专家系统，发展具有逻辑推理和模式联想的推理机和自学机。② 人工神经网络，提高其推理、联想的快速自学习能力等。在此基础上逐步形成具有学习能力和联想能力的更加完善的人机智能系统
直线电动机及直接驱动技术	无磨损电动机，免维护，最大加速度大于 $2g$，实现更高的精度、生产效率和更好的动态性能，降低使用成本。可应用于高精度直驱转台、直驱刀架，快速高精度直线轴驱动，提高传动效率，快速分度与精确定位，提升加工精度和切削能力

第 6 章　开发适合战略性新兴产业需要的关键设备

战略性新兴产业是以重大技术突破和重大发展需求为基础、对经济社会全局和长远发展具有重大引领带动作用、知识技术密集、物质资源消耗少、成长潜力大、综合效益好的产业。

数控机床处于整个制造业产业链的中间，因此，数控机床产业是智能制造装备产业中很重要的一部分，高效、精密、复合、智能和绿色是数控机床技术发展的总趋势。在经济全球化的今天，任何国家的机床工业都置身于世界机床市场的激烈竞争中，一个国家机床的出口和进口状况，可以反映出这个国家机床工业国际竞争力的强弱。

技术的发展最终要落实在产品上，我国的数控机床迫切需要在实用化和产业化方面强化发展。数控机床产业化的关键技术包括高速化技术、复合化技术、智能化技术、超精密加工技术和环境保护技术等；数控机床基础、共性技术研究包括数控机床设计理论及数字化设计技术研究、数控机床结构的动态优化设计研究、数控机床的可靠性研究等。例如，英国某公司研制的数控车床，是对 3 500 家小型企业的需求进行调查后才设计的；日本森精机开发 X Class 系列机床时，对 500 个客户进行了调查，收集了上千个问题，在此基础上进行总结分析，从提高机床机械刚性、采用热变形对策、实施节能环保措施和统一操作界面等方面着手，实现了产品的高品质和低成本。这样的机床一定是适合用户要求的，而不是单纯追求高性能和多功能。

数控机床产品的发展重点是：① 实现关键功能部件和数控系统产业化，为数控机床产品的升级奠定基础，主要包括电主轴及其伺服单元、刀库及机械手、滚珠丝杠副、滚动直线导轨副、高速防护装置、直线电动机、全功能数控刀架及数控动力刀架、数控工作台、中高档通用和专用数控系统等。② 实施高端数控机床及生产线集成系统应用，满足国家战略性新兴产业重点工程需要。③ 实施高端数控机床示范工程，满足国家重点工程需要。

一方面，随着技术进步，新产品研发速度越来越快，日益扩大的多样性需求使新产品数量急剧增加；另一方面，在市场竞争愈发激烈的情况下，生产批量不确定性增大。而基于通用性数控机床组成的柔性生产线，由于其价格昂贵，投资风险大，尤其是产能过剩矛盾日益突出时更为明显，因此，解决多样性与经济性日益突出的矛盾，满足变品种、变批量的需要，兼顾高柔性、高效率、低投资的要求和市场快速反应能力，以制造系统的革新如发展可重构制造系统等来解决产能过剩的矛盾，成为当今数控机床技术和产业发展的新趋势。

随着先进制造技术的不断进步，制造业从提高精度和提高效率两个方面同时对数控机床提出新的需求。在提高效率方面，数控机床自动化程度的提高是各机床企业致力发展的方向，从单一加工方法的单机制造到复合加工，从柔性制造单元到柔性制造生产线，都在一定范围内得到了迅速发展和应用。在提高精度方面，从螺距误差补偿到空间误差补偿，从精密加工到超精密加工；数控系统的脉冲当量从 0.001mm 到 0.000 1mm，超精密机床甚至可达 1nm；加工精度从微米到亚微米，乃至纳米，在高技术领域和军用工业以及民用工业中都有广泛应用。

6.1 开发适用于汽车及其零部件加工的数控机床

汽车工业是规模化要求比较高的行业，近年来得到了快速发展，作为机床产业的消费主体，其消费量约占总量的 40%。数控机床良好的柔性、高加工精度、高适应性、高效率等优点，早已被汽车制造商所关注，从 20 世纪 60 年代开始就逐步进入汽车制造业零部件生产领域。但由于其成本高、系统功能少及利用率低等，数控机床一直没有得到广泛应用。直到进入 20 世纪 90 年代，伴随着市场竞争的加剧、汽车多品种生产要最大限度地满足市场的多样化需要，数控机床的优点再度被关注，数控机床成为汽车制造业的首选加工设备。

满足汽车制造业的精密高效数控机床以高速度来提高效率。目前世界先进水平的数控机床主轴转速可达到 40 000r/min 以上，加速度达 2.5g，快速移动速度达 180m/min。数控机床的驱动系统、传动机构、机床结构以及刀具应用等都有很大的进步。机床主轴采用电主轴、陶瓷主轴轴承，用直线电动机驱动，带光栅反馈；机床结构一般采用框架式箱中箱结构；刀具采用 HSK 短锥刀柄，并采用高硬度耐热刀具。

国产数控机床应着力提高自身能力，加快进入汽车制造业的步伐，提高机床的可靠性，降低故障率，在人机界面的设计上多下功夫，重视人性化。机床应带

有主动测量及补偿系统，以提高精度，强化自身的汽车零部件制造工艺能力。针对汽车零部件制造的要求，要开发系列化、模块化的数控机床产品，满足汽车制造业零部件制造生产的需要，并要经受大批量生产的考验，真正树立以用户为上帝的市场观念，坚持持续有效地改进，高标准，严要求，使国内汽车制造商用国产数控机床制造国产汽车并走向世界。

汽车零部件主要有：发动机和变速器壳体类零件、齿轮、汽车转向齿条、转向齿扇和柱塞、摇臂、连杆、针齿壳、传动法兰、摆线齿轮、定子、转子、喷油针、阀针、阀杆、油泵活塞、带密封锥面的油泵活塞、控制滑阀、转子轴、轴承外圈、配合螺栓、凸轮轴、曲轴、拨杆等。

随着汽车性能的不断提高，人们对驾驶的平稳性和舒适性要求逐渐增强，汽车齿轮的高精度需求大幅度增加，齿轮磨削加工机床和工艺得到迅速发展。机床不仅要求具有成形磨削和展成磨削功能，能够加工直齿轮和斜齿轮，还需要配置齿轮测量装置、砂轮自动修整装置和自动上下料装置，减少加工过程中非生产时间，以适应高质量的小批量加工和高产量的大批量加工。为提高齿轮机床生产效率，可配置两个相同的工件主轴，安装在分度台两面，在加工一个工件的同时，可以在另一个主轴上装载并找正，减少更换装备所需要的调整时间，以适应大规模、高质量生产的齿轮加工。

高精度车削中心和铣车复合加工中心是解决汽车轴类零件加工的关键设备，可实现复杂零件一次加工成形，提高了生产效率并降低了成本。但是对于特别精密的零件加工，车削工艺还不能完全满足要求，需要用高精度数控磨床。高精度磨床需采用静压导轨技术，全闭环控制，刚性更高，精度保持性更好，驱动更加平稳。此外，磨床的主轴砂轮头架结构和砂轮更换方式非常重要，不仅影响加工精度和加工效率，还可能导致空间干涉而影响加工范围，因此，结构上应尽量紧凑，摆臂小且转换更加灵活，方便砂轮更换及其平衡，以减少干涉，增大磨削加工范围，提高砂轮转换精度，使加工精度更高。

为了适应零件的大批量生产，还可以配置龙门式机械手上下料机构或其他类型的上下料机构，以减少零件的交换时间，实现与其他机床间的联线生产，或者组成独立的磨削生产单元进行批量化生产。上下料系统不仅可存放毛坯件，也可以存放成品件，适用于大批量制造模式下的稳定生产。

6.1.1 我国汽车工业市场的发展及其对机床的要求

根据国际汽车制造商协会公布的数据，2011 年全球汽车产量为 8 010 万辆，

中国以 1 840 万辆的产量成为世界最大的汽车生产国。据工业和信息化部（以下简称“工信部”）网站消息，2012 年，我国汽车市场实现平稳增长，节能与新能源汽车快速发展，出口高速增长，产业集中度进一步提高，汽车产业结构进一步优化，汽车产、销量双超 1 900 万辆，居世界第一，再次刷新全球历史纪录。

我国汽车行业正处于前所未有的高速发展时期，即使是在全球金融危机的大环境下，依旧“一枝独秀”。汽车行业的强劲发展，催生了汽车零部件加工市场的兴旺，并已经成为机床消费的主题。伴随着中国汽车行业的高速发展，汽车零部件产业的面貌也日新月异。通常它作为消费了 40% 的机床设备金额的一个产业，汽车零部件产业的发展既依赖于机床工业的技术进步，又有力推动着机床工业的发展。同时，汽车行业的激烈竞争加快了产品更新换代的步伐，冲击着汽车的生产方式。所有这些都决定了机床制造业必须不断地推陈出新，以适应新的发展需要。

汽车（含零部件）行业一直是机床最大的用户行业。汽车工业“十二五”规划中，2015 年汽车年产量为 2 500 万辆，各主流汽车企业 2015 年产能规划之和更超过 3 000 万辆，这无疑为机床产业提供了一个很大的市场。

汽车工业所需机床，首先应当是高效的和高可靠性的，同时也必须具有足够的精度与精度稳定性，而且也要有适度的柔性，所以不仅需要大量的通用数控机床，更需要很多数控和非数控的专用机床。

专用性，是汽车制造业对数控机床需求的另一特征。随着我国汽车工业开始进入微利阶段，汽车零部件只有采用“高效专用”机床大量成批生产，才能降低成本，提高质量，在激烈的汽车制造企业市场竞争中不被淘汰出局。

数控机床的普及和应用同样也推动了汽车制造业的高速发展。例如，发动机开发周期从原来的30个月缩短到13个月，汽车模具的生产周期也由原来的1.5～2年缩短到现在的半年左右，满足了汽车日益发展的多样性需要，使车型种类不断出新。

在一次有关汽车装备的论坛上，中国汽车工程学会装备部部长陈长年就汽车发展对机床装备的需求谈了自己的看法：“汽车制造的水平和质量取决于装备水平，同时，汽车工业的国际竞争力又取决于装备的先进性和制造成本。汽车工业的发展既依赖于机床工业的技术进步，又引领机床工业的发展。近几年来，由于汽车产业的快速发展和产品结构调整的需要，我国汽车工业更凸显出它机床消费主体的地位，占我国机床消费金额总量的份额已远超 40%。同时，汽车工业投资的一半以上又用于购买金属加工机床，其中进口机床约占 80%。”

汽车发动机和车身冲压件生产线具有连续、高效、高可靠性的特点，机床制造厂应专门研究汽车零部件的工艺特点，与汽车行业相互交流、共同研发具有模块化、系列化、可实现交钥匙工程的成套柔性生产线。

发动机曲轴生产线需要的主要生产设备有数控车床、内铣床、高速外铣床、车拉机床、高效柔性两端孔钻床、高效柔性油孔钻床（或高速加工中心）、主轴径磨床、连杆径磨床或随动磨床、端面外圆磨床、抛光机床、曲轴颈圆角滚压机床和动平衡机等。

发动机凸轮轴生产线需要的主要生产设备有数控车床、高效柔性两端孔钻床、凸轮轴无心磨床、凸轮磨床、端面外圆磨床、抛光机床、重熔硬化设备等。

发动机连杆生产线需要的主要生产设备有双端面磨床、连杆胀断设备、立式拉床、钻镗专机或加工中心、精镗机床和珩磨机等。

齿轮加工需要的设备有数控滚齿机、数控插齿机、数控珩齿机、数控磨齿机、立式拉床、内孔端面磨床和综合检查机等。

汽车发动机的性能和质量是表征汽车整车制造企业竞争力的重要核心技术，不仅品种多样化且不断更新，因此需发展适应新的高效精密工艺的加工设备和相应的成套辅助设备，并组成适应多品种混流生产、具有模块快速构建的可重组生产线。这些数控机床必须性能可靠、精度稳定，其机床能力指数 $C_{mk} \leqslant 2.0$。

由于我国汽车工业大量引进国外技术，合资企业居多，目前发动机缸体、缸盖、曲轴、凸轮轴等零件的主要生产设备有 80% 是从国外引进的，国内机床生产厂家所占的份额较小。

6.1.2 汽车零部件制造对机床需求大，加工要求高

汽车工业的发展既依赖于机床工业的发展，又推动了机床工业的技术进步。作为工作母机的机床，是汽车生产的重要设备，占到了汽车制造厂固定资产总投资的 2/3 左右，直接影响到汽车的制造成本。有关分析认为，汽车行业对机床的消费金额已经占到机床行业消费总量的 40%。汽车产品的更新换代离不开机床的支持，20 世纪 80 年代，美国福特公司与英格索尔公司合作，研制了集高柔性及高效率于一身的高速加工中心，并且以其为主要设备组成柔性自动生产线，加快了汽车产品的更新换代，提高了汽车制造的效率和灵活性。

汽车零部件产业是汽车工业的重要组成部分，汽车工业的发展为汽车配件企业的发展提供了庞大的市场。据相关报道，2010 年中国汽车零部件工业总产值超过 1.4 万亿元。随着汽车行业的继续高速发展，汽车零部件产业也将迎来美好

的发展前景。

目前汽车产业对机床的消费主要分为两个层面：一是用于汽车整车生产的四条线，即冲压、焊接、涂装和总装线；二是包括发动机、变速器、转向系统、制动系统、传动系统、悬挂系统在内的汽车零部件的加工。汽车零部件加工约占整车全部装备价值的 70%，是机床消费的重点所在。

随着市场竞争的不断加剧，市场对于汽车产品的技术、服务提出了更高的要求，对于汽车的安全等性能也愈加关注；而随着全球节能减污、低碳排放措施的实行，汽车的排放标准日益提高，加之中国劳动力成本不断上升，导致汽车零部件企业的压力空前加大，对零部件加工的可靠性、生产效率、精度、成本等提出了更高的要求。

当前，汽车制造业对数控机床的基本要求可以归纳为：高效柔性、精密可靠、环保成套。汽车生产按工艺流程，大致包括发动机、变速器、底盘零件、冲压、焊接、涂装、总装及铸造、锻造、热处理等生产线。开发的重点依然在节能减排上，其着力点放在将所有车用零部件的重量减轻以及降到最小上。

发动机是汽车的核心功能部件，发动机加工设备是汽车生产最重要的装备之一。随着新车型的加速推进，发动机生产线对柔性化的要求越来越高，通常一条发动机生产线需要能够至少满足三种机型的生产。同时，汽车轻量化趋势使得对发动机缸体、缸盖材料要求由铸铁转向铝合金，以及为减少运动部件的摩擦力而对制造精度提出新的需求，这些都对发动机加工机床有了新的更高的要求。发动机制造设备主要是加工缸体、缸盖、曲轴、凸轮轴、连杆等的生产线设备，该类设备大多是高效、高性能、高可靠性数控机床和专用数控机床。其中：缸体、缸盖及变速箱体加工柔性生产线大多由立式 / 卧式加工中心组成；曲轴加工设备主要是车拉机床、数控曲轴内铣或外铣机床、数控曲轴磨床、曲轴抛光机等设备；凸轮轴加工设备是凸轮轴数控车床、凸轮轴磨床等；连杆加工基本为专用设备，如数控双端面磨床等。生产线可实现自动加工、自动检测、自动清洗、自动分组等功能。

数控机床作为一种机电一体化的产品，其融入了最新的电子和机械技术。汽车零件加工设备中除了机床之外，还有刀具、夹具、测量设备等的使用。同时，考虑到大批量生产方式以及组线的需要，必须还要有物流、清洗、试漏、压装、装配以及管理等环节的全面配合。

汽车发动机生产线、传动系统生产线及车身冲压件生产线等具有连续、高效、高可靠性的特点，汽车行业迫切希望机床制造厂能根据汽车零部件的工艺特

点，与汽车制造厂共同合作，研发满足汽车零件加工需求的专门化机床和成套柔性生产线。专门化机床如高速精密加工中心、精镗机、缸孔精密珩磨机床、曲轴动平衡机、曲轴颈圆角滚压机床、连杆涨断机床、曲轴内铣外铣机床、曲轴高速磨床等，要求精度稳定、性能可靠，随着汽车零件加工质量和精度的进一步提高，机床能力指数 C_{mk} 要求大于 2，工序能力指数 C_{pk} 大于 1.67；成套柔性生产线同时包括高速取料机器人和辅助设备，如具有去毛刺功能的清洗机、搬运机器人、激光焊接机、缸套压装机、在线检测设备等，关键要突破有关加工机床的性能评价、误差溯源、质量控制与管理集成等技术。

在汽车制造的整套工艺流程涉及的各类软硬件技术繁复多样，无疑也考验着机床制造商面对汽车零件生产提供服务配套的能力。机床制造商不但要提供高性能机床，还要具有为用户规划一整套解决方案的能力，根据客户方的加工工件图样、技术要求、质量要求和生产纲领，提供从设备选型、节拍计算、工艺安排、刀具选择、夹具设计和制造，一直到编程试切与人员培训的一系列服务，使得机床一到客户工厂即能投入生产并创造效益。

6.1.3 汽车零部件制造急需高效加工解决方案

汽车产能的大幅度提升必然要求汽车零部件产能的大幅度提升，而面对逐渐提高的中国劳动力成本，汽车零部件生产企业不得不考虑采用效率更高、复合性更强、自动化程度更高的机床来解决制造成本与劳动力成本的矛盾。面对这一趋势，瑞士托纳斯（Tornos）公司针对汽车零部件中的精密轴类零件的高效加工推出了多主轴自动车削中心。

托纳斯公司的八主轴数控自动车削中心 Multi Sigma8×24 有 8 个加工主轴，每个主轴均为独立电动机驱动的电主轴，由 24 个数控直线轴控制刀具对轴类零件进行加工，并包括 2 个独立的背面主轴，可以完成轴类零件的外圆车削、内孔加工、横向钻孔、铣削、自动掉头加工等。8 个加工主轴沿圆周均匀分布，将一个复杂零件的正面需加工的所有工序按尽可能一致的加工时间分配给 8 个主轴，这样使零件在正面加工的时间相比单主轴车床大大减少，在第 7 个和第 8 个主轴位置上，由 2 个背面主轴夹持零件后再调头加工，而零件的加工节拍就是单背面主轴加工时间的一半和 8 个正面主轴加工时间中最长的那个，从而大幅提高加工效率，减少机床的占地空间和所需的操作人员数量，提高零件的精度稳定性，非常适合超大批量的零件生产。

该机床的 24 个直线轴完全由数控方式控制。除 7 号主轴位置（实现切断工

序和背面主轴调头加工）及 8 号主轴位置（实现切断工序和背面主轴调头加工）外，其余 1 ～ 6 号主轴位置由对应数控刀架完全独立控制，故可以同时进行正面钻孔和外圆车削工序加工。

而零件在正面 7 号和 8 号主轴位置进行切断工序后，换由 2 个独立的背面主轴夹持零件，由背面对应加工刀架完成调头车削、钻孔、镗孔、端面车槽等工序加工。零件加工完成后通过收集装置自动收集到机床外部成品零件箱内，至此一个完整的零件完成。

2010 年，沈阳机床成套设备有限责任公司为天润曲轴股份有限公司（以下简称天润曲轴）提供了 7 条曲轴加工生产线。其中，针对该公司 4GI 四缸曲轴而规划的四缸曲轴日式推拉上下料自动化生产线项目，是沈阳机床成套设备有限责任公司自行研发并设计制造的，具有完全自主知识产权。该项目应用了其新开发的 SUC8216 型数控铣端面中心孔机床、SUC8117J 型双刀架数控车床，改版后的 SUC8149 型曲轴油孔加工数控机床及 SUC8114 型两端孔加工数控机床等。针对天润曲轴项目的工艺特点和各工序的技术要求，沈阳机床成套设备有限责任公司制订了针对性很强的加工工艺，包括铣端面、铣定位面和套车大小头外圆工序合一的工艺，车轴颈采用双伺服刀架数控车床车削工艺，连杆颈及沉割槽采用数控随动内铣床和连杆颈数控车加工工艺，曲轴油孔采用基于 MQL 微量润滑技术的五轴全自动钻削机床加工工艺，两端凸缘螺纹孔及销孔键槽采用双面转塔多工位动力头组成的专用卧式加工中心完成，最终平衡去重用全自动去重平衡机加工工艺等。

这条四缸曲轴自动化生产线通过操作者平推曲轴可以实现工序与工序之间的曲轴输送，通过机械手可以实现曲轴由物流线到机床内的输送。生产线工艺的合理制订，不仅降低了物流系统成本，减少了加工辅助时间，更提高了生产率。而且，由于提高了机床的复合化程度，使加工工序更加集中，缩短了曲轴生产线长度。同时，由于这条生产线由柔性设备组成，可以适应多品种的曲轴加工，符合天润曲轴多品种、小批量的生产特点，满足了天润曲轴年产曲轴 9 万件、单件生产节拍 3.4min 的生产要求。

6.1.4 汽车装备制造业的发展变迁

20 世纪 70 年代，我国汽车及零部件制造业将加工自动化作为追求的目标。欧美等发达国家企业增强市场竞争力的主要手段是提高生产效率、降低成本。到改革开放后的 80 年代，我国汽车工业采取的是“以市场换技术”的发展战略，主要汽车厂先后从美国、欧洲、日本的汽车巨头引进二手的技术及装备，促进了

欧美汽车企业技术装备的改造和更新，同时将在低成本基础上向客户提供质量可靠的产品作为制造业的主题。到90年代，美国、欧洲、日本等汽车巨头看到中国汽车市场潜在的巨大需求，纷纷来我国设立合资厂，优化设计特别是适应中国市场的汽车设计成为主流，汽车零部件加工技术也随之引进来。

进入21世纪，随着新车品种推出所需时间的缩短及多品种个性化产品的不断推出，汽车由单纯的代步工具逐步过渡为时尚化的产品，节能和减排问题也成为全球普遍关注的问题。汽车零部件的生产方式也发生了相应变化，适应大批量生产的自动化刚性生产线难以满足新兴需求。随着数控机床和刀具技术的快速发展，加工效率大大提高，柔性生产线工序集约化的生产方式和品种变换的便捷性突显出来，降低单件零件制造成本成为制造商努力的方向。高效率和高柔性成为当今汽车制造业发展的趋势。

（1）机床高速化　汽车行业对于加工效率和加工质量的追求是推动高速加工技术前行的动力。机床的高速度基于机床主要配套元件的发展，这体现于数控技术、电主轴技术、直线电动机技术等先进技术的应用。

例如，采用电主轴技术的机床主轴转速达40 000r/min以上；而直线电动机的应用使快速移动速度能够达到120m/min，加速度达到2g，三轴联动时的合成速度更能达到208m/min，加速度达3.24g；采用伺服电动机驱动的换刀机械手的换刀时间能达到0.8s，大幅度缩减辅助时间，提高机床的使用效率。

（2）机床高精度化　汽车零部件的大批量生产方式，要求机床具有高的机床能力指数C_{mk}，这要求机床具有高精度且精度的保持性与可靠性要好。只有这样的机床才能加工出高质量的产品，才能为确保产品质量和提升装配效率奠定良好的基础。对于高速加工的机床还需通过主轴恒温、中空丝杠冷却、自动热补偿及全闭环控制等技术的运用，以保障机床的精度得以不断提高。

（3）机床复合化　尽可能将加工工序集中在一台机床上予以加工的复合加工技术，能够缩短物流线和加工周期，减少辅助和等待时间，并避免工序间的误差传递，有效提高加工效率和加工精度。

这种复合化的要求进一步提升加工中心集中工艺的概念。最初的复合技术主要是多面多轴的复合，后来又在卧式车床基础上增加加工中心铣轴，发展成为车铣复合加工中心。现如今则是在车铣复合的基础上进行不同工艺间的复合，如在机床上加工完成后直接进行淬火和磨削。需要指出的是，复合加工中心并非把各种加工方法所用的部件作简单的集合，而是首先针对加工零件的工艺需要，合理

配置和可重构；其次使部件多功能化，实现结构和应用集约化。

这就意味着可以真正做到按照订货配置适用的高效精密机床进行生产，并可大幅度缩短交货期，它对工厂的生产和管理模式产生深远的影响。

（4）机床自动化　自动化技术的应用非常适合批量生产的要求，它可以提高生产率，并减少人为因素的影响。

复合加工机床、大容量的刀库和自动上下料装置为自动化的实现提供了有力保障。复合加工机床的使用使得工件在一台机床或一个单元上便能基本完成全部的加工工序；大容量的刀库则确保在刀具寿命结束时能及时更换备用刀具，也可以实现多品种的混流生产。

这种自动化单元也为大批量的生产提供了一种新模式，将传统的流水线生产改为单元化生产，只要通过增设相应的单元数量即可实现产量的增加，而且某个单元的故障也不致影响其他单元的生产。

（5）网络、信息技术的应用　网络、信息技术的应用能够进行系统集成，这不仅减少了辅助时间，还方便了管理，有效提高机床的开动率。由于电子技术和计算机软硬件技术的发展，现在的数控机床不但可以完成切削加工的功能，还拥有很多智能化与网络化的功能，如人机对话式的编程方式、夹具刀具数据库、操作历史记录、机床负载监控、加工时间分析、自动诊断导航，以及机床维护等。

（6）节能环保　作为上游的设备制造商，必须在设备的开发阶段就要考虑到节能环保和宜人化操作方式的需求，应尽量减少机床占地面积，融入节能设计，节省润滑油的耗用等，以及借助全封闭防护罩完全避免切屑和烟尘的外溢，不对工作环境造成污染，同时操作氛围也更加舒适。

6.1.5　汽车零部件加工设备典型案例

汽车制造业是机床的需求大户，汽车制造业需要大批高效、高性能、专用数控机床和柔性生产线，如用于发动机加工的以高速卧式加工中心为主的柔性生产线、曲轴加工专用数控机床等。汽车零配件生产需求大批数控车床、立卧式加工中心、数控高效磨床和数控齿轮加工机床等。汽车工业的全新生产模式和轻型高强度的工件材料向生产设备供应商提出挑战，机床行业的发展也同时改变着汽车产业的生产模式和概念。以下介绍几例高速、高精度、高度柔性化生产设备在汽车行业的应用。

1. 汽车覆盖件模具的加工机床

2011 年首次在德国汉诺威机床展上展出的德马吉的 DMU 600P 型超大型龙

门加工中心（图 6–1），可满足汽车覆盖件模具的加工。该机床最大可加工工件质量达 40t，最大行程可达 6m，具有高达 3m/s^2 的动态加速性能和由此所带来的更高生产效率。

德马吉 DMU 600P 机床尺寸：X 轴行程为 6 000mm，Y 轴行程为 4 200mm，W 轴横梁行程为 1 600mm（选配 2 000mm）和 Z 轴滑枕行程为 1 250mm（选配 1 500mm）。这样的行程距离本身表明该机床可用于超大型和重型工件加工。除此之外，宽度方向龙门间的距离为 3 500mm，垂直方向为 3 000mm，机床工作台尺寸为 5 000mm×2 600mm。

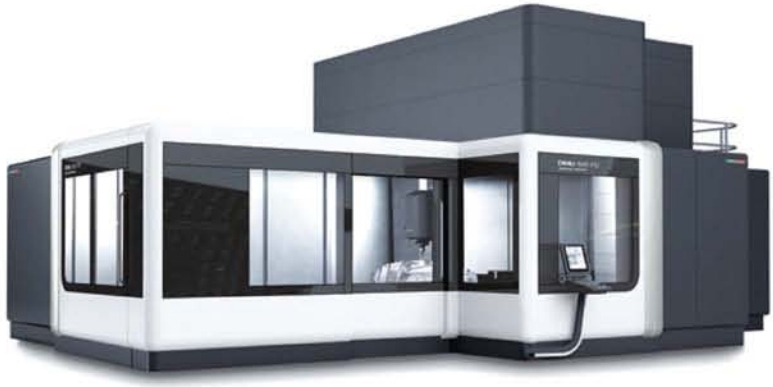


图 6–1　德马吉 DMU 600P 型超大型龙门加工中心

除行程距离大外，全新 DMU 600P 型超大型龙门加工中心还有如下突出的结构特点：独有的模块化平台结构，包括实心铸造的 12m 长床身、龙门和多种可选工作台，以及在一台机床上进行车铣加工的 FD 铣头；智能刀具管理系统，最大可管理 313 把刀以及自动换铣头；高性能粗铣铣头的最大转矩达 2 500N·m 转速达 6 000r/min，高精度和高动态性能精铣铣头的转速达 24 000r/min，最大转矩达 90N·m；借助丰富的选配系统，DMU 600P 的模块化结构使用户拥有一个完全灵活和独有的大型工件加工应用平台；全封闭、照明良好的工作区既具有良好的可视性，同时可防止切屑和切削液的飞溅，这不仅强化了安全性，而且可以保护环境和节省清洁成本。

DMU 600P 型超大型龙门加工中心的优势体现在如下几方面。

（1）高速和高动态性能可实现最高生产率　DMU 600P 动力强劲、应用范围广泛，而且速度快、动态性能好。其直线轴最高进给速度可达 30m/min，加速度可达 3m/s^2。特别是考虑到换头和换刀运动所需运动距离大的情况，高速和高动

态性能是缩短非加工时间和达到同类机床最高生产率的保证。特别是它采用直接驱动技术的回转轴加速度高达 7m/s^2，回转和摆动速度达 40r/min。

（2）西门子或海德汉高端数控系统　数控系统方面，DMG ERGOline® 控制面板配 19in 显示器，选配海德汉或西门子 3D 数控系统。这些系统拥有加工大型工件的一流性能，其中包括适用于模具制造的专用软件模块、适用于高精密和高表面质量的高精度嵌套件和适用于高速加工的特别调整的循环。

（3）广泛稳定性　DMU 600P 采用龙门结构，确保了精度的长期稳定。特别是龙门单独固定在地基上，用机械方式连接龙门与床身，保证了一致的几何特性和最好刚性。另一个稳定性的保证是采用 GGG60 铸铁，它的减振性能最好，是高精度精铣加工的基础保证。

2. 汽车变速器齿轮的加工机床

汽车变速器对传动速度、传动效率、噪声、传动和变速的平稳性方面有很高的要求，对齿轮精度也要求很高。传统的加工方法是在齿轮淬火后再进行磨削，以提高齿轮端面和内孔精度，但是相对低下的磨削效率难以满足加工效率和零件加工成本方面的要求。

随着高刚性的机床结构和电主轴技术在数控机床上的全面应用，以及 CBN 和陶瓷刀具的使用，当今一些数控车床在加工淬硬钢时已能实现以车代磨的高效加工。

这项工艺已成功运用于汽车变速器齿轮的生产。淬火后的变速器齿轮的工件硬度可达 58 ～ 62HRC，运用 CBN 或陶瓷刀具进行硬车削之后，工件表面粗糙度值可达到 R_a0.2μm 以下。

3. 汽车差速器壳体内部的球面加工机床

汽车差速器壳体内部有一个球面需要加工，由于加工部位在工件的腔体内部，以往都需要采用专用机床，而这种机床的采购周期往往较长，导致整个生产工艺的推进滞后。

复合加工技术的发展使得在通用机床上加工此类零件成为现实。马扎克公司生产的 INTEGREX 系列复合加工机床（图 6–2）便可配合专用的勾形刀具，利用 B 轴和 Z 轴的插补功能进行插补进刀，使勾形刀具通过工件的小孔绕进工件内部来加工零件。

这一改变大幅度缩短了零件的加工准备周期，也使得零件的多品种交替生产成为可能，加速了零件的更新换代。同时，INTEGREX 机床所具有的复合加

工能力，也能应用于像发动机缸体、缸盖、曲轴、凸轮轴、连杆等复杂零件的加工，使这些零件能由一个整体的块料或是棒料在一台机床上直接加工为成品，并立即进入发动机整机的组装环节。

虽然在现阶段，这种加工手段尚不能适用于批量加工，但是由于这一工艺能省去制作模型和铸造毛坯的过程，使得发动机样机在设计完成之后便能迅速跨入样机生产工序，特别适于发动机的研发试制或个性化发动机的生产。

图 6–2　INTEGREX 系列复合加工机床

4. 分型制造系统和多品种大批量制造系统

可重构制造系统（RMS）在 1998 年被美国国家研究委员会（NRC）列为未来 20 年制造业必须优先解决的十大关键技术之首。

RMS 着眼于制造系统结构的快速调整能力，其原理是通过对制造系统中机床配置的调整和机床功能模块的增减，迅速构成适应新品生产或生产批量变化的市场环境。由此也诞生了可重构机床（RMT），RMT 由标准化的模块组成，其与传统模块化机床（如组合机床）的本质性区别是它在使用中的可重构性。RMS 的结构和布局可根据需要在用户现场快速重组。

据此，日本马扎克公司开发出了分型制造系统。分型制造系统是德国提出的一种制造系统模式，分型制造系统的单元组成中含有整个制造系统的功能要素，其实质是“单台套件生产”，即可以应对各种不同零件加工的通用性模块生产方案。该分型制造系统的原理是“一次装夹完成加工”。因此可用几台 INTEGREX 系列机床，分别完成发动机五大件的全部加工，进行成套件生产，并随即装配成一台发动机，使得在发动机设计完成后即可用最小的投资、最快的速度生产出来，非常适用于新发动机研发。分型制造系统把复合性机床技术的软件、硬件功能发挥得淋漓尽致。

分型制造系统的工艺特点是工序集中，一台机床“独立”完成全部加工，在生产批量加大时增加机床，并配备物料存储和传送装置；其设备排列特点是并联式，一台机床出现故障，生产线照常运行。分型制造系统可以应对各种不同零件加工的通用性模块生产方案，比较适合多品种、小批量、多样式的生产。

多品种、大批量制造系统是多样化时代新生的汽车零部件制造系统，是制造技术应对兼顾多样性和经济性要求的最新技术创新。

多品种、大批量制造系统包括工件送进式机床和紧凑型柔性自动流水线。至今只有两家德国公司能够完整提供这种成熟的全自动化技术，但只适用于小型复杂零件的多品种、大批量制造。其中一个是德国 Ex-Cell-O 公司开发的兼有组合机床和通用加工中心特性的 XG 系列加工中心；另一个则是德国 Witzig&Frank 公司的紧凑型柔性自动流水线。

多品种大批量制造系统还有紧凑型柔性自动流水线。相对于传统柔性自动流水线来说，其物流系统（原材料处理、存储、上下料装置、机床间工件传输装置）十分简约，工作台（托盘）、八角头回转刀库也十分简约。

德国 Witzig&Frank 公司的 TRI-FLEX 是一条占地面积很小的紧凑型柔性自动流水线，由围绕在中央集中式物流装置四周的 4 台模块化加工中心组成，适合小型精密汽车零部件多品种大批量流水线生产。上料机器人将毛坯送到中央集中式物流装置，然后至第一台加工中心。在完成这道工序后，中央集中式物流装置只需旋转 90°（如配置 6 台加工中心则旋转 60°），即可将置于其上的工作台（托盘）送到第二台加工中心，依次类推，完成全部加工。每台加工中心都按节拍流水加工，每一生产节拍（以分秒计算）都会生产出一个零件。

专业变速器厂和发动机缸盖厂，由于面对不同用户的要求，因而需要中等尺寸和重量的变速器壳体和发动机缸盖的多品种变批量制造系统。瑞典 MODIG 公司的工件送进式制造单元 TransFlex，是对机床运动方式的创新，我国企业正在进行技术引进。

工件送进式机床也称工作台倒置式机床，其原理是：主轴装于机床上部并携带倒置的工件，各个运动轴（3~5 轴）全部或大部集中于主轴，刀具装于机床下部，加工时主轴按数控软件指令将工件运送到刀尖。

这类机床最早出现于十几年前，由德国 EMAG 公司首创，是以加工盘类零件为主的“倒立车”，而工件送进式机床在此之上又有了发展：从立车形式发展到加工中心形式；具有一组或多组排列式刀具或动力刀具轴。这些刀具皆为模块

化的，可根据加工要求设置，加工对象改变时更换刀具很方便。根据加工需要可配置卧式数控车床的转塔刀架，转塔转位就实现了换刀，转塔刀架中还可以包含动力刀架，如铣刀轴、钻头轴、丝锥轴等，还可放置独立的大功率铣刀轴、外圆磨头、内圆磨头、珩磨头、激光头、齿轮铣刀轴、蜗轮滚刀轴等。这样一台多功能或复合加工机床可实现除装夹基面以外的全部加工。而且不再只限于加工回转体类零件，还可加工非回转体类零件，即菱柱体类零件，如板、壳、箱体、缸盖等及其他异形零件。

工件送进式机床有下列优点：① 可实现自动上下料，不需丝毫额外的投入，从而由单机升级为制造单元，实现自动化无人生产。同时排屑方便，适合于大批量自动化生产。② 加工对象改变时可快速调整，具有良好的可重构性。工件与刀具的相对位置及其精度靠智能数控软件保证，既节省了定位和对刀时间，又在加工对象改变时很容易地进行调整，适合新产品研发和量产。此外，在加工对象改变时还可更换模块化刀具。③ 夹具相对简单，原则上不需设计制造复杂的专用夹具，因而加工新品的周期大大缩短，费用大大降低。同时，省略了传统加工中心换刀的大部分动作，因而节省了换刀时间。

这种复合式加工中心从其原理上讲也是一种分型制造系统，由于工件进给运动轴集中于机床结构顶部，运动灵便，但受结构支承刚度的限制，较适用于加工形状复杂的中小型零件。其所有加工工序均在一个工位上顺序完成，生产效率不及多工位的柔性自动流水线，更适宜于多品种变批量的生产场合。

一般一台工件送进式机床可以满足生产节拍 1min 左右的要求，显然投资小得多，也不存在产能过剩问题。如果生产节拍要求更短，可以再加一台工件送进式机床，以此类推。与传统生产线相比，省略了工件自动传输系统，占用车间面积小，安装费用低。

5. 高生产率的轴类零件加工设备

汽车行业的客户不仅是在购买一台机床，更是希望获得一个灵活的生产统，能够为客户提供全面解决方案，以保证高生产力和高效率。

Tornos 的多轴 MultiAlpha 数控车床（图 6–3），配备有 6 个或 8 个主轴，每个独立的主轴都有自己的驱动系统。此外，该设备配有 2 个高刚性数控背主轴，每个背主轴拥有 5 个独立的加工刀位，可以完成需要二次装夹加工的复杂零部件（图 6–4）。通常，二次加工不但需要额外的时间和金钱，更会产生很多难以控制的质量问题，而 Tornos 的多轴 MultiAlpha 车床不但能满足质量、成本和加工节

拍的匹配问题，还能满足汽车行业客户的越来越高的期望。

汽车行业现在要求的质量水平为 5ppm（5×10^{-6}），即最多百万分之五的缺陷率。为了保证这样的质量水平，Tornos 与控制和测量程序的专业供应商合作开发了一个接口，能够与不同类型的测量系统接通，数据可从这个接口传递给供应商。这种合作保证了设备与测量系统的兼容性。

图 6–3　多轴 Multi Alpha 数控车床

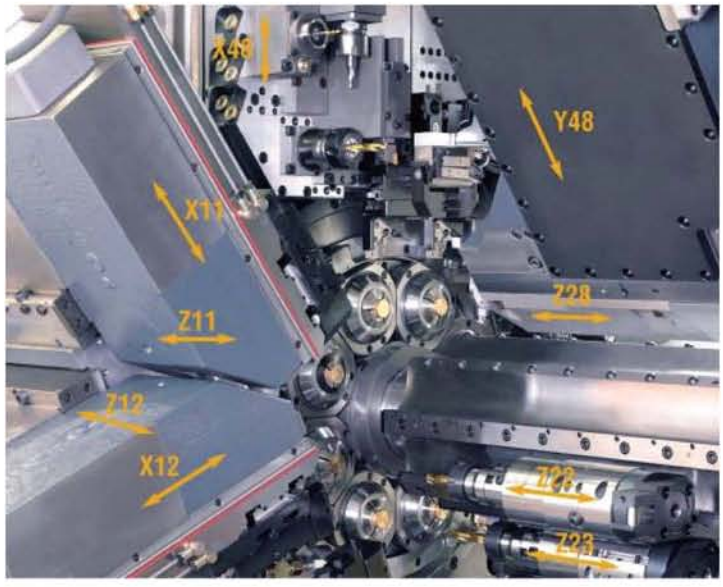


图 6–4　多轴 Multi Alpha 数控车床的背端加工

该接口可以选择利用单轴或多轴机传送正确的数据。如果测量系统检测到的偏差是由于刀具磨损，则会将偏差自动传回机床进行自动补偿。这样，车床可以

自动监测从外置测量系统传回的监测参数，如出现异常，系统会自动发出警报并停机。这种方式令整个零件加工条件始终保持不变，使零件质量大幅度提高。

多轴 Multi Alpha 数控车床非常适合于连续化生产。设备的加工能力能够达到每天 24h 运转，这不仅依赖机器本身，而且还有整个系统，当然包括其周边设备。这种多轴车床可以加工最大直径达 34mm 的零件，对于较大直径的铸造件或冲压件，此机型可以安装一个卡盘系统。无论是哪种情况，车床结构都是相同的。这意味着除了一些小的改动，以及提供一个自动输送卡盘外，没有其他修改的必要。

在汽车行业，机械手卸载零件和自动码放已成为一种趋势，而 Tornos 可以提供这种先进的卸载码放方式，如图 6–5 所示的集成机械手。另外一种变体是利用机器人来加载和卸载零件，这种自动化的模式甚至在标准的程序模式下都可以执行。

图 6–5　集成机械手

由于加工批量不同和工件材料不同，切屑排出的过程可能会有很多不同的问题，尤其是在大批量自动化生产的情况下。为了解决这个问题，多轴 Multi Alpha 数控车床使用高压泵除屑（3MPa 和 8MPa 高压），可处理多种切屑，从黄铜和铝到不锈钢材料。

由于切削液需连续过滤，如果过滤器堵塞，加工过程中会自动不断地清洗。

多轴 Multi Alpha 车床在每一个工作位置都配备主轴，因此有多达 30 个数控

轴需要控制，为解决编程复杂性，该车床配备了专业的编程软件来解决这个问题。由于专业的编程软件 TB-DECO 有强大的编程功能，用户只需编程 6 或 8 次类似三轴普通数控车床的程序就可以了。

多轴机不仅要快，同时必须可靠，能时时刻刻生产高质量的零部件。Totnos 多轴机如图 6-6 所示。

图 6-6　Tornos 多轴机

多轴 Multi Alpha 车床的背主轴是标准配置，可容纳 5 个刀具，有相当强大的加工能力。在某些情况下，单个背主轴的长加工节拍可能会影响整个零件的加工节拍，Tornos 可送配提供两个背主轴，以提高背主轴的加工节拍。

客户可以根据需要选择不同的加工方式。选择双背主轴系统，可以大幅度提高复杂零件的加工节拍。如果只是加工一个相对简单的零件，可以将机床分成两台来用，即第 1、3、5 主轴与第 7 位置的背主轴作为一台机床，而第 2、4、6 轴与第 8 位置的背主轴作为一台机床，这样一个循环就可完成 2 个零件的加工。

6. 燃油喷射器的加工设备

喷油器、动力转向器、ABS 制动器、节气门、空调压缩机部件、摇臂等汽车零部件对加工精度的要求非常高，加工此类零件所用机床必须有相当高的加工水平，而且具备足够的应对产品变化的柔性。

电控共轨燃油喷射技术的成果使柴油发动机成为高效的现代动力源，同时也推进了机床加工工艺的进步及高性能机床的应用与发展，使其在专用生产技术方

面迈上了新的台阶。

随着电控共轨喷射系统柴油发动机获得越来越多的青睐，其相关成果和生产工艺也被应用于直喷式汽油发动机。

喷油发射器加工设备需求与现状如下。

（1）越来越苛刻的加工要求　柴油和汽油发动机的燃油喷射器是技术要求极高的关键零件，因为它直接影响到汽车的燃油燃烧性能及最终排放。随着各种环保立法的要求越来越苛刻，与其相关的设计、加工技术与设备、制造工艺等必须不断地突破现有的极限。

随着消费经济的不断发展，消费者越来越注重高性能、低价格、低油耗和更长的可靠工作时间，这对发动机的燃油喷射器来说，意味着其应具有更高的性能、更高的油泵压力和更精密的燃油流量。要在这些方面达到较高的水平，就需要提高零件的加工精度，尽可能地减小零件的尺寸误差，几何形状公差更小，这同时也是满足不断发展的车用管理系统软件和控制电子元件的要求。

要满足这样的要求，还需要改变零件材料，而这也许意味着零件更难加工、表面质量要求更高；而且，所需组装的零件数减少，也使得零件形状更趋复杂。所有这些都要求加工设备必须具备更高的生产一致性，其所允许的误差或偏差极小，最好整个加工过程也被整合在一个加工循环中，零件通过一次装夹定位就可以在更短的时间内完成多个工序的加工。显然，这将进一步增加加工制造的复杂程度。

（2）发展高精度成套加工技术及装备　电控共轨喷射系统产量大，同时又要得到高的加工精度，喷油器生产线以前使用着大量专用机床，如高效回转式和直线式的组合机床以及特种机床，这种生产线最致命的问题就在于设备的寿命随着产品的升级而中止。而如今产品更新换代的灵活性越来越重要，因而所需设备也必须具备数控柔性化，既可方便地根据市场需求调整产量，并可根据新产品的要求重新设置刀具，还可通过更改工艺而获得更高的生产率，从而满足降低成本、改进性能的要求，这也正是柔性化生产的标志。

中国一汽无锡油泵油嘴研究所根据发展电控共轨柴油喷射系统制造技术与关键装备的需求，在“数控机床重大科技专项”支持下，与四川普什宁江机床有限公司、北京工研精机股份有限公司、北京市电加工研究所、无锡机床股份有限公司、苏州信能精密机械有限公司、北京北一中型数控机床有限责任公司等单位合作研发了喷油器体型腔深孔钻铣多轴复合加工中心、喷油器体柱面成形和螺纹滚

压加工复合车削中心、亚微米精度共轨系统零部件数控硬车削车床、四工位电火花加工喷孔专用机床、高精度数控中孔座面磨床和高精度数控小孔珩磨机等成套高精度数控加工机床，是研制与应用紧密结合的一个成功案例。

（3）研发适用于多种零件的加工装备　瑞士 Mikron 公司生产的加工系统的应用范围较为广泛，可大批量生产各种中小型精密汽车零部件，如喷油器、动力转向器、ABS 制动器、节气门、空调压缩机部件、摇臂等。

针对不同的用户需求，Mikron 加工技术公司为客户提供了多种型号的产品，其中，Multisteptm 系列为直线式多单元柔性加工系统，Multistartm、Multifactortm 和 NRG–50tm 系列增加了 *B*、*C* 回转轴，成为转台式多工位加工机床，如图 6-7 所示。

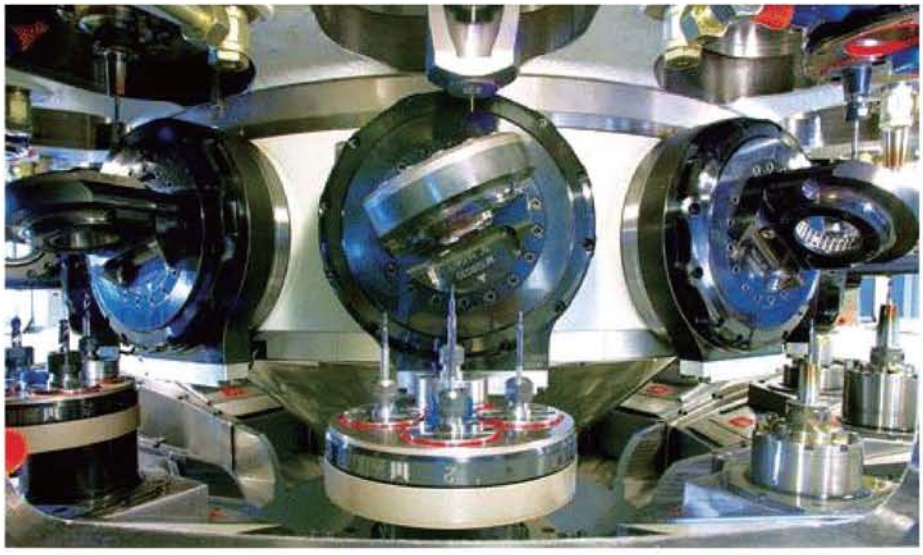


图 6–7　Mikron NRG–50tm 回转式多工位机床的 *B*/*C* 轴

数控、模块化和高柔性的 Multisteptm 机床是面向发动机燃油喷射系统加工的先进设备，它是一种可扩展的零件直线传输的机床，换刀切削间隔时间小于 1s，五轴联动，适合中小批量加工，工件尺寸可达 150mm×150mm×100mm，一次装夹即可完成壳体零件如喷油器壳体的加工等。

24 工位的 Multistartm 机床是一个回转分度式多工位机床，其定位精度可满足汽车工业严格的要求，最多可装 44 个加工轴单元，可从实心毛坯开始加工喷油器，效率为每小时 600 件。利用这种新型加工单元可经济加工尺寸范围至 ϕ32mm×60mm 的各类工件。

7. 汽车模具加工设备

随着我国汽车行业的高速发展和国民收入的不断增加，轿车已经开始进入家庭，成为代步工具的耐用消费品；激烈的竞争使得汽车行业产品更新换代周期越来越短，这就必然带来对汽车零部件尤其是汽车模具的大量需求。

汽车行业激烈的竞争还来自于成本的控制，如何提供高品质、低价格的产品是每个企业必须面对的课题，而这种要求必然会传递到设备的供应商上。

下面以小巨人公司生产的机床为例，说明机床制造业是如何来应对汽车零部件和模具加工的这种需求的。在小巨人公司的机床上加工的车灯模具如图 6–8 所示。

图 6–8　在小巨人公司的机床上加工的车灯模具

高速、高精度是数控机床的两个重要指标，它直接关系到模具加工的质量和效率。而机床的高速度和高精度来自于机床的主要配套元件，主要体现在机床的主轴功率特性、数控系统、电主轴技术、温度控制技术、温度补偿技术和智能化。

（1）主轴的功率特性　在模具加工的开始阶段，主要是要去除型腔中多余的材料，需要先用大直径的刀具快速切削，因此要求机床具有高刚性的结构和高转矩的主轴电动机；在精加工阶段，要求模具要具有高的表面精度和良好的表面质量。为了避免加工过程中刀具与工件之间发生过切现象，要求刀具的半径要小于型腔面的最小圆角半径，所以在加工中常用小直径的球头铣刀，因此要求机床有高速、高功率的主轴，但是受制于电动机的特性。主轴电动机很难兼顾低速大转矩和高速、高功率的要求。传统的方案是借助机械的方式，通过机械变速实现，但是机械变速的方式很难使主轴达到一万转以上的速度。马扎克公司的解决方案是通过双绕组电动机来实现，在电动机的定子上同时有两组绕组来分别对应低速大转矩和高速、高功率的要求，根据主轴的转速自动切换到相应的绕组。

（2）数控系统　小巨人机床配套的 MAZATROL FUSION640 系统搭载的 64 位 CPU 具有超高的数据处理能力。由于现在模具制造对表面精度的要求越来越

高，采用计算机编程的微量线分段也越来越精细，需要的数据处理和存储能力也越来越高。该系统 64 位的 CPU 和 8G 的硬盘空间可轻松胜任。此外，系统有专门针对模具加工的 MAZACC2D/3D 软件，具有精密曲线功能和平滑高增益系统选项，能够自动修正异常点，实现平滑的曲面。

（3）电主轴技术　把电动机和主轴结合在一起的电主轴技术使主轴的最高转速可达到 25 000r/min，再加上高刚性的床身结构、双面平衡的主轴，可确保主轴在高速转动中振动最小。高速、高刚性的主轴技术保证了零件的加工精度和低的表面粗糙度值。

（4）温度控制技术　通过主轴轴套和中空丝杠的恒温切削液带走了主轴、丝杠和轴承套等发热部件的热量，保证了机床在长时间运转下的精度稳定性。切削液温度管理功能将切削产生的热量和环境温度变化带来的精度变化降到最低。

（5）温度补偿技术　对温度的变化量进行测量、建模、提取特征存储在系统中，通过分布在机床各关键部位的温度传感器可以随时检测机床关键部件的温度变化，根据此变化及时补偿由于温度变化引起的机床位置变化，使机床的加工过程始终处于最佳状态，确保机床长时间加工精度稳定性。

（6）智能化　随着计算机应用技术的发展，目前 CAD/CAM 图形交互式自动编程已得到较多的应用，是数控技术发展的新趋势。它是利用 CAD 绘制的零件加工图样，由计算机计算刀具轨迹数据并进行后置处理，从而自动生成数控机床零部件加工程序，以实现 CAD 与 CAM 的集成。通过 MAZATROL 系统自带的网络接口将编制好的程序通过网络直接输入到机床上；利用系统的刀具管理功能，可以知道哪些刀具需要补充和更换；3D 实体模拟可以及时发现程序是否正确，加工时间需要多少，是否和夹具、刀具存在干涉等信息，避免了错误的加工和撞车造成的刀具和夹具的损坏。

牧野公司生产的精密加工中心针对模具加工周期较长，且对加工型面的平顺性有较高要求的特点，除也应用与小巨人公司上述类似的措施外，更进一步着手控制热变形：① 对于运转过程产生热量，通过向滑座、立柱、底座、主轴、丝杠、电动机法兰等中空部分输送温度可控的冷却液，保证机床温度场的均衡。② 对于环境温度变化，则采用隔热室，当环境温度在 20 ～ 26° C 波动时，室内温度可控制在 23±0.5° C。由此可使加工中心在连续 12h 工作下，其精度变化可控制在微米级。另外其所研制的 FFCAM 软件可以选择最佳刀具轨迹，提高加工表面的光顺性。

6.2 开发适用于航空航天零件加工的数控机床

精密加工技术是航空航天及电子工业、军工行业不可缺少的关键技术。不同的精密加工方法都有其特定的或适用的加工对象或精度范围，选择精密加工方法要综合考虑材料特性、加工效率、加工成本等。航空航天工业作为新兴产业的前沿，对精密加工的需求和依赖性更为突出，这主要是因为零件的尺寸精度和表面质量要求越来越高。我国要突破飞机发动机、机载设备、材料等关键核心技术，典型零件和难加工材料的加工是其中的一个关键环节。

航空航天零件主要有：机匣、叶片、整体叶盘、叶片榫齿、分油盘端面弧齿、航空液压元件、航空轴承、齿轮轴、地板梁、桁条、连接件等。

航空发动机机匣有三类：一类是对开环形结构，一类是整体环形结构，还有一类是异形壳体。机匣的材料是一种难加工的、耐高温的高强度钛合金材料；机匣本身又是薄壁、弱刚性结构的大型零件，其型面复杂，精度要求高，加工难度大，一台推力为 150kN 的航空发动机机匣直径可达 ϕ800mm。大飞机的大型风扇机匣外形尺寸甚至达 ϕ1 823.5mm×546mm，最薄处壁厚仅 3mm。因此，机匣加工需要中、大型多功能、高精度数控机床。机床应具备双工位、在线测量和仿真功能，刀库容量大，主轴转速高，机床的动态性能好，数控系统具有高级编程功能。精密数控立式车床、精密龙门式五轴联动加工中心是机匣加工的关键设备。

航空发动机的叶片材料为耐高温的钛合金材料，整体叶盘是薄壁盘类零件，需用五轴联动加工中心、五轴高速龙门铣床及电火花成形加工机床等加工叶片形面，并配置在线叶片形面检测设备；叶片有很多冷却用的小孔，需用高精度电加工机床打孔，实现较大的长径比和高精度加工；叶根榫齿槽的加工需用拉削、铣削和成形磨削加工，并要求机床具有自动更换砂轮和自动砂轮修整装置，以及在线测量、程序调整和自动补偿等功能。加工叶片用的高速磨床要求刚性好、定位精度高，砂轮线速度要在 100m/s 以上。

航空工业是带动数控技术发展的产业，许多新技术的出现都与航空工业的需求相关。研究开发加工飞机结构件的新型数控机床对发展我国数控机床产业具有重大意义。随着中国工业的飞速发展，航空航天产业已经成为中国的战略性产业，越来越多的机床厂家把目光转向航空航天产业。

中国航空产业正在崛起，除军用飞机系列已经取得长足的进步外，引人瞩目的 C919 大型客机已签署了 100 架启动订单。处于试飞取证阶段的 ARJ21 新支线

客机，累计取得的订单达到340架，其他如直升机、通用飞机的研制能力也已明显增强。

中国大飞机公司的成立，也表明了国家发展航空航天的决心和力度。航空航天领域的飞速发展，以及国际合作业务的稳步增长，导致了国内外市场的大飞机需求量的增加。从一定程度上讲，政府不仅要把大飞机的研制作为一个重点，还要进行批量生产。这就需要国内的机床厂家不仅要研发新技术，同时要能够进行大批量生产。机床采购的着眼点发生变化，机床客户更加注重机床的生产率 、稳定性和批量生产的能力。

世界上第一台数控机床就是为生产飞机螺旋桨叶片轮廓而设计的，这是制造业发展过程的一个革命性突破，标志着制造业领域中数控化加工时代的开始。航空工业典型零件的结构特点是大量采用整体薄壁结构，形状复杂。为了增加航空器的机动性，增加其有效载荷和航程，降低成本，必须进行轻量化设计和广泛采用新型轻质材料，从而对材料性能的要求越来越高，现在大量采用铝合金、高温合金、钛合金、高强度钢、复合材料、工程陶瓷等材料。此外，结构复杂的薄壁件、蜂窝件形状复杂，孔、空穴、沟槽、加强筋等较多，工艺刚性差。

航空航天产业对数控机床特别是高速、高效、高精度、多轴联动的高端数控机床还会有新的需求，其中包括制造复合材料整体构件的自动铺带机与自动铺丝机等。

航空航天设备制造业大发展对机床行业具有很强的带动作用，需要精密、中小型的数控机床。如精密纵切自动车床、盘料数控自动车床、精密数控车床和车削中心、七轴控制双主轴车削中心、立卧转换四～五轴铣削中心、小规格五轴立式加工中心、高精度电加工机床、高精度数控万能磨床、数控坐标磨床、数控光学成形磨床等。结合航空航天设备的特点，未来航空航天制造企业将采购一大批高速加工中心、五轴加工中心和五轴高速龙门铣床等关键设备。如工作台宽度为1 000～2 000mm，长度为2 000～4 000mm，主轴转速为6 000～30 000r/min的高速五轴龙门移动式镗铣加工中心、高架式高速龙门加工中心、大转矩中速五轴加工中心、ϕ1 000～2 000mm数控立式车床、大功率高刚性数控立式车床、立卧转换式镗铣加工中心等。加工航天发射的运载火箭、舱体等大件，需要100t以上大吨位旋压机，工作台ϕ3 000mm以上五轴双柱立式车铣中心、镗轴直径ϕ160mm以上落地铣镗加工中心、加工宽度2 000mm以上龙门镗铣加工中心等重型机床。

根据航空工业零件的结构特点和加工要求，需要带A/B摆角或A/C摆角的五

轴联动加工中心、高速加工中心、大型双龙门立式加工中心、大型数控龙门镗铣床、精密数控车床、大型数控精密立式车削中心、车铣复合加工中心、叶盘高效加工中心、端面弧齿磨床、高速转子叶尖磨床、缓进给强力磨床、拉床、相关电加工机床、激光熔覆加工机床、板类件无模多点成形压力机、定向单晶熔炼炉、电液束流设备等。要求机床具有足够的刚性，操作简单，人机界面清楚，有样条插补（NURBS）功能，过程控制均匀，以减少对拐角处加工精度的影响，并具有在线测量仿真功能。

为了符合动力学的原理，机身结构件的每一个部分可能带有一定的角度，成品的重量只是毛坯重量的 5% ～ 10%，这就需要很高的切削效率。叶盘的加工是从一个圆盘状工件边缘加工出多个小叶片，同时叶面的本身也是一个曲面，而且为了适应飞机发动机使用时工作环境的高温度，材料采用的是高温合金，加工难度大。叶盘加工非常能够体现机床过硬的品质。叶片小的只有几十毫米，大的可达 400 ～ 500mm。叶轮是一个非常具有代表性的五轴联动加工零件，这些零部件加工时都需要考虑机床的五轴加工能力、刚性和可靠性。其加工能力可充分考察机床的加工性能。

6.2.1 航空航天对机床的需求

航空航天设备制造业包括飞机制造、航空航天器制造、飞机修理等，国内航空制造业务包括军用飞机、支线客机、大飞机制造，航空零部件制造及转包业务。航空航天设备制造业需要大型、高速、精密、多轴、高效数控机床。

1. 主要用于加工发动机、机身、机载设备的机床

（1）发动机加工机床　飞机的发动机种类很多，加工方式大同小异，所需设备以高精度数控机床为主，如加工箱体的四轴以上联动卧式加工中心和立式加工中心、加工叶片的五轴联动叶片加工中心、加工主轴用数控车床、高精度数控磨床等。

（2）机身（包括机头、机翼、尾翼等）加工机床　该类零部件主要是大型框架结构，材料以铝合金、钛合金等为主。设备以数控龙门式机床为主，如数控龙门镗铣床、数控龙门加工中心、数控落地铣镗床、数控五轴联动龙门加工中心等。

（3）机载设备加工机床　由于机载设备种类很多，所需加工设备也比较复杂，一般需要规格较小的高精度、高速数控机床，如中小型高精度立式加工中心、高精度数控车床、数控磨床等。

（4）飞机起落架的加工机床　飞机起落架所需材料比较特殊，起落支架采用高强度的钛合金等材料，加工难度大。其毛坯需要万吨压力机锻造成形，机械加工设备一般为数控落地铣镗床、龙门式五轴联动加工中心等设备。

2. 大飞机项目将加快我国航空工业整合的步伐

中国商用飞机有限责任公司（以下简称“中国商飞公司”）的成立标志着中国大飞机项目的正式启动。大飞机项目对国内航空工业的整合将是逐步推进的过程。随着大飞机公司的正式挂牌，中国航空工业第一集团公司（以下简称“中国一航”）和中国航空工业第二集团（以下简称“中国二航”）的整合也正在加速推进，并由此拉开中国航空工业的整合大幕。

大飞机项目投资大、风险大，对相关技术要求严格，不仅需要国家大力投资，还需要集合中国一航、中国二航等大规模的航空工业企业共同参与，加速国内航空工业升级，促进航空工业优势整合。

3. 航空航天设备制造业对机床的需求

目前航空航天设备制造业既有国家政策的大力扶持，又具有未来相对确定的业绩预期，同时产业整合方兴未艾，在新机遇下将加速发展。

航空航天设备制造业大发展对机床行业具有很强的带动作用。结合航空航天设备的特点，未来航空航天设备制造企业将采购一大批高速加工中心、五轴加工中心和五轴高速龙门铣床等关键设备。目前重点急需的是五轴加工中心，如工作台宽度为 1 000~2 000mm、长度为 2 000~4 000mm、主轴转速为 6 000~30 000r/min 的高速五轴龙门移动式镗铣加工中心或高架式高速龙门加工中心，大转矩中速五轴加工中心，ϕ1 000~ϕ2 000mm 数控立式车床，大功率高刚性数控立式车床，立卧转换式镗铣加工中心等。加工航天发射的运载火箭、舱体等大件，需要 100t 以上大吨位旋压机，回转工作台 ϕ3 000mm 以上五轴双柱立式车铣中心、ϕ16 000mm 以上落地铣镗加工中心、加工宽度为 2 000mm 以上的宽龙门镗铣加工中心等重型机床。

4. 飞机结构件的特征和加工要求

飞机结构件的加工是飞机制造工程的主要组成部分。过去，飞机的大型结构件往往是由许多零件装配而成的。近年来，飞机结构件的整体设计原理越来越受到重视。整体设计的基本概念是：从一块整体毛坯上将金属切除，从而获得性能优越的整体结构件。它的优点不仅是缩短了加工装配周期和物流链，同时也减轻了结构件的重量，这对现代化客机和战斗机都是非常重要的。

飞机结构件包括机身、机翼、隔板和肋条等，大多数是薄板类零件，上面有众多形状复杂的孔、空穴、沟槽和加强筋，其材料主要是高强度铝合金，毛坯一般是 60 ～ 300mm 厚的铝板或铝锭，长度为 1 ～ 30m。

典型飞机零件的结构特点是薄壁结构，形状复杂，外形变斜角变化大，多为双曲面，要求成形精确。为了减轻飞机重量，增加飞机的机动性和增加有效载荷和航程，要进行轻量化设计，广泛采用新型轻质材料。为了提高零件强度和工作可靠性，主要采用整体毛坯件和整体薄壁结构。现在大量采用铝合金、钛合金、耐高温合金、高强度钢、复合材料等。结构复杂的薄壁件、蜂窝件不仅形状复杂，而且孔、空穴、沟槽、加强筋等多，工艺刚性较差。

整体结构件加工的共同点是毛坯的金属切除率在 80% 以上，对新式战斗机而言甚至高达 95%。由于在飞机结构件设计中广泛采用三维 CAD 和有限元分析，其结构得到不断优化，材料性能获得充分利用，从而在提高结构件强度的同时，其重量有可能明显降低。这必然导致结构形状复杂化、空穴多、壁厚薄，必须使用五轴联动的数控机床才能加工。

进一步对现代飞机结构件的加工工艺分析后，对新一代数控机床大体提出以下几点要求：

1）机床的加工效率高，金属切除量大，主轴能够提供足够的功率，进行高速铣削。

2）机床的精度和可靠性高，性能稳定，能够保证加工质量，而不依靠加工后的检验工序。

3）工序集约化，在一台机床上尽可能加工完毕所有工序，刀库容量在 100 把刀具以上。

4）工件装卸方便，运行成本低，环境污染少，人机界面友好，可远距离操作和监控。

6.2.2 机身结构件的典型零件

飞机机身结构件的典型零件有梁、筋、肋板、框、壁板、接头、滑轨等，以扁平件、细长件、多腔件和超薄壁隔框结构件为主；毛坯为板材、锻件和铝合金挤压型材；材料利用率仅为5%～10%，原材料去除量大。目前，国内飞机零件，有 90% 以上为铝合金件，少量为不锈钢件和钛合金钢件，且整体结构件越来越多，因此，应用复合材料是今后的发展方向。

1. 机身结构件典型零件的结构特点

1）零件的轮廓尺寸越来越大，有的梁类零件的长度已达到 13m。

2）零件的变斜角角度变化大，超薄壁等，最薄处尺寸只有 0.76mm 左右，所以，零件加工工艺刚性差。

3）零件的结构越来越复杂，很多零件采用整体结构。

4）零件的尺寸精度和表面质量要求越来越高，如有些零件加工后出现的毛刺等缺陷，不允许用人工去除。

2. 加工飞机机身典型零件所需的主要设备

1）三坐标加工中心，如大型龙门立式加工中心。

2）五轴联动加工中心，如大型龙门立式加工中心，应配备 *A*/*B* 摆角铣头或 *A*/*C* 摆角铣头。

3）从发展的角度考虑，需要大型龙门式双主轴五坐标加工中心，工作台尺寸为 5m×20m，用于加工梁类零件。

4）加工铝合金件需要大功率高速加工中心，功率不低于 40kW，主轴转速达 20 000r/min 以上，带两坐标摆角铣头。

5）由于整体铝合金件切削加工去除量大，为便于排屑，最好需要工作台可以翻转 90° 的卧式加工中心，而目前国内尚无这种卧式加工中心。

6）飞机机身结构件品种多，形状各异，且工艺刚性差，需用大量夹具。为降低成本，缩短生产准备周期，需要各种柔性夹具。

7）钣金成形件主要涉及蒙皮、型材、导管等的曲面成形，要求成形精准。为保证制造精度，需要大规格蒙皮拉深机、蒙皮滚弯成形机，还有三轴滚校平机、型材拉弯机、导管成形机等。飞机部件装配还需自动钻铆设备。

8）为减轻飞机重量，复合材料的应用越来越多，制作复合材料构件需要铺带机等。

6.2.3 航空发动机典型零件结构及加工特点

航空发动机分为活塞式发动机和喷气式发动机两大类，其中喷气式发动机主要有冲压式发动机、脉动式发动机、涡轮喷气式发动机、涡桨式发动机、涡轴式发动机和涡轮风扇发动机。涡轮风扇发动机主要包括风扇单元体、高压压气机单元体、燃烧室、高低压涡轮、尾喷口和附件系统等，因其分为内、外涵气流通道，故又分为内、外涵发动机。涡轮风扇发动机的组成零件按结构和用途划分

为：叶片、涡轮盘、涡轮轴、机匣、导管、喷嘴和中小结构件等。

1. 航空发动机叶片零件的结构及加工特点

1）航空发动机叶片分为静子叶片和转子叶片，静子叶片又称整流叶片，转子叶片则称为工作叶片，发动机涡轮叶片结构如图 6–9 所示。

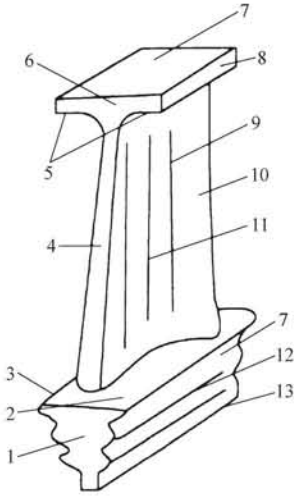


图 6–9　发动机涡轮叶片结构

1—榫头侧面　2—安装板内侧　3—安装板叶背侧面
4—前缘　5—叶冠内侧　6—叶冠端面　7—叶片基体
8—叶冠侧面　9—叶展形成线　10—后缘　11—叶身
12—安装板叶盆侧面　13—榫头底面

2）航空发动机叶片多采用不锈钢、钛合金、高温合金等材料，材料难加工，切削性能差，零件结构复杂，尺寸精度要求严格，表面质量要求高，其工艺路线安排比较复杂，主要根据叶片各加工部位几何形状、尺寸精度和位置度要求、去除材料余量、叶片材料及热处理状态来确定加工设备、加工刀具和加工方法。叶片加工部位主要包括叶身型面、叶片榫头和榫齿、叶片阻尼台、叶片安装板及叶冠。叶片机械加工的特点是：铣削和磨削为主，通常采用叶片高速铣等专用加工设备，采用专用的叶片加工 CAD/CAM 软件生成叶片加工程序。

3）钛合金材料的叶片型面需用五轴联动加工中心、五轴高速龙门铣等。叶根榫头的加工需用拉床和缓进给强力磨床，并且缓进给强力磨床应具有换砂轮功能和滚轮修砂轮装置，还需要有在线测量、程序调整和自动补偿功能。

叶片型面也可用电解加工，这可大大提高加工效率，但需用数控六轴砂带抛

光设备抛光，并且要有叶片型面检测设备。

大型宽弦空心风扇叶片采用宽弦、空心、带阻尼凸台结构，直径为 ϕ1 600mm 以上，风扇叶尖速度高达 457m/s，选用钛合金或树脂基材料。制造这类叶片需要五坐标叶片铣床、自动抛光机、组合封焊、扩散连接及超塑成形设备等。

叶片有很多冷却用的小孔，用电脉冲打孔比用激光打孔好（激光打孔有硬化层），但电加工打孔机床没有打孔深浅的显示，操作困难。这也是目前电脉冲打孔需要解决的问题。耐 1 100° C 高温的镍基单晶涡轮叶片具有很好的高温强度和综合性能，叶片上有许多直径为 ϕ0.3 ～ ϕ0.4mm 的冷却气膜孔，制作这类叶片需要定向 / 单晶熔铸炉、陶瓷型芯焙烧炉、制芯机、磨削中心、数控缓进给磨床、叶片制孔的电液束流设备及小孔加工单元等。

2. 航空发动机盘、轴类零件的结构及加工特点

航空发动机盘类零件包括高压涡轮盘、高压压气机盘、低压涡轮盘及低压压气机盘。盘类零件结构一般由轮缘、腹板、轮毂、封严篦齿等组成，在轮缘上有安装叶片的榫槽，腹板上有起平衡作用的小孔。发动机涡轮盘结构如图 6–10 所示。

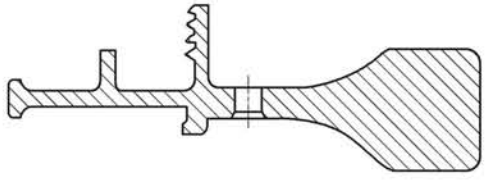


图 6–10　发动机涡轮盘结构

轴类零件是航空发动机转子的重要组成部分，通过联轴器等与风扇盘、压气机盘、涡轮盘及鼓筒联接，共同组成高速旋转的风扇转子、压气机转子和涡轮转子。因此，轴类零件对航空发动机的可靠性起着至关重要的作用，通常采用高性能的耐热合金材料，尺寸精度、几何公差和表面质量要求很高，加工难度大，对加工设备要求高。航空发动机轴类零件主要是指风扇轴、压气机轴、涡轮轴（图 6–11）等。

航空发动机盘类零件主要有两大类，即压气机盘和涡轮盘，其中压气机盘又分为风扇盘和高压压气机盘，通常采用高温合金、钛合金材料。航空发动机盘类零件的特点是材料难加工、尺寸精度高、表面质量要求高、壁薄易变形，因此加工难度较大，尺寸精度和技术要求难以保证，对加工设备、加工刀具和测量工具的要求较高。航空发动机盘类零件机械加工包括车加工、钻镗、拉削和磨削等，

主要加工部位包括内外圆、前后端面、腹板、篦齿和榫槽等。

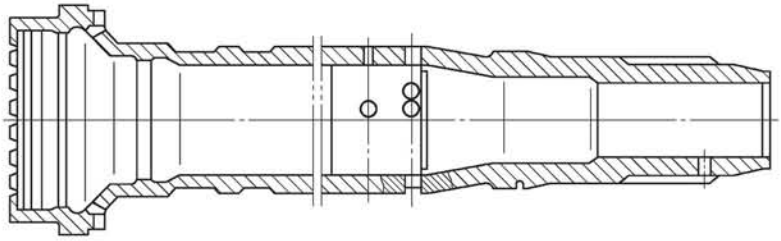


图 6–11　涡轮轴结构

航空发动机轴类件工作时以上万转的高速旋转，载荷状态复杂，要求工作平稳、振动小，因此发动机轴的配合尺寸精度、几何公差要求高。发动机轴类件的机械加工工艺包括内外表面的车削、磨削和深孔镗加工。

整体叶盘是薄壁盘类零件，叶盘圆周上有装叶片的榫槽，其直槽可采用拉削加工和磨削加工，圆弧形榫槽可采用铣削和成形磨加工，但圆弧形榫槽的检测困难。叶环和叶盘的加工则需要数控卧式车床、精密数控立式车床，要求加工机床的刚性好、定位精度高约为 2 ～ 3μm。整体叶盘的叶片部分可用五轴高速加工中心加工，还可以用电火花成形加工。重型内燃机叶盘直径可达 ϕ2 000 ～ 3 000mm，需要用砂轮线速度 100m/s 以上的高速磨床加工。

3. 航空发动机机匣类零件的结构及加工特点

1）航空发动机机匣类零件是发动机的重要承力部件，按结构可分为环形机匣和异形机匣两大类，其环形机匣包括整体环形机匣和对开结构环形机匣两种结构。

整体环形机匣由前后安装边、锥形或圆柱形筒体、加强筋、安装座、安装槽和安装孔组成，如图 6–12 所示，其刚性较好，不易变形，径向跳动较小，但存在拆卸较困难的缺点。对开结构环形机匣由两个锥形或圆柱形半环组成，通过水平安装边采用螺栓联接方式组对而成，外表面分布加强筋、安装座、探视孔，内腔有安装叶片的 T 形环槽。对开结构的机匣易拆卸，便于维护，但存在椭圆度大的问题。

2）航空发动机机匣类零件结构复杂，尺寸大，材料难加工，存在材料去除量大、加工周期长、刀具消耗大的特点。通常发动机机匣类零件采用不锈钢、钛合金、高温合金、铝合金和复合材料等，不同结构、不同材料、不同毛坯形式的机匣类零件其加工工艺安排也不同。采用整体锻件毛坯形式的环形机匣，材料去

除量尤为大，其主要加工部位和加工方法如下：① 外型面通常采用四、五坐标加工中心进行铣加工。② 内腔 T 形槽和前后安装边采用数控立车加工。③ 前后安装边孔和外型面安装座、探视孔采用数控钻镗床或四、五坐标加工中心进行铣加工。④ 对开机匣水平安装边螺栓联接孔采用四坐标卧式精密镗加工。

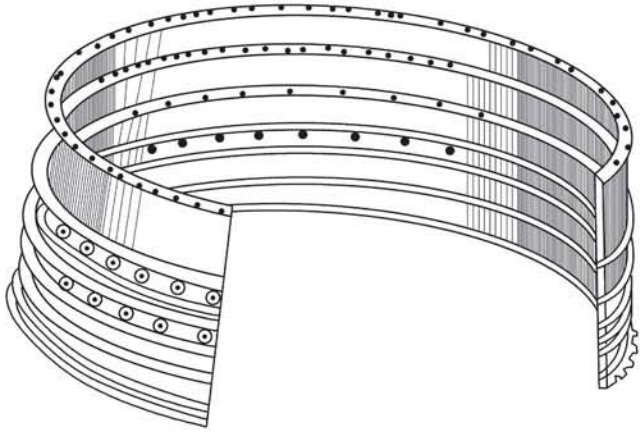


图 6-12　整体环形机匣结构

3）机匣是薄壁、弱刚性结构，型面复杂，精度要求高，加工难度大，需要中、大型多功能及高精度数控机床。如加工直径为 ϕ2 000mm 的数控立式车床和精密数控立式车床、工作台尺寸为 2 400mm×5 000mm 的龙门式五轴联动加工中心，需具备双工位、在线测量和仿真功能，刀库容量 60 把刀左右，数控系统具有高级编程功能；工作台尺寸为 3 000mm×5 000mm 的龙门式数控镗铣床等。

6.2.4　航空发动机叶片加工对机床工具的要求

通常在一台五轴联动加工中心上完成叶片型面和榫头的全部加工任务。由于叶片型面为空间自由曲面，曲率较大，并且较薄，易变形，因此它是叶片加工的关键。叶片型面的加工采用硬质合金球头铣刀，对加工设备的具体要求如下。

1）叶片高速铣削机床应有较高的主轴转速和较好的稳定性，主轴高速旋转时不会产生明显的颤振，适合高速铣削加工的要求。

2）采用适合高速铣削加工的主轴刀柄，通常选择 HSK 热胀式刀柄，如图 6-13 所示。该刀柄特点：采用短锥形夹具，适于与冷却系统相接触；小干扰面，高抗弯强度；具有利于刀具在冷却状态下安装的前端；夹具径向圆跳动误差小于 0.003mm；在精密平衡仪的帮助下高速运转时无干涉；定位好，适用于高速切削。

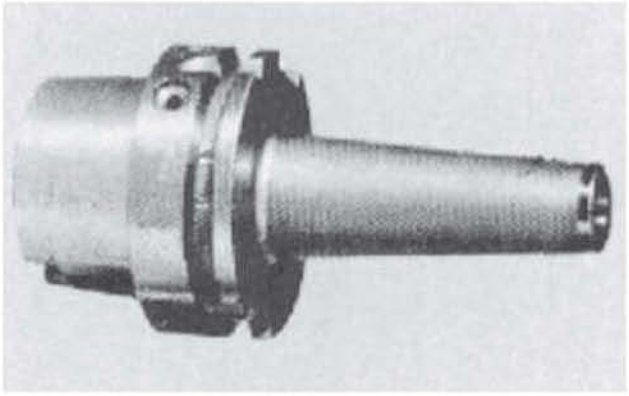


图 6–13　HSK 热胀式刀柄

3）叶片高速铣削机床应具备较高的加速度，能够满足高速铣削加工的要求。

4）叶片高速铣削机床应有强大的五轴加工功能，包括刀尖跟踪、压缩器、3D 刀补等。

5）通常采用瑞士 Starrag 公司的五坐标加工中心（图 6–14）和意大利 Ferrari 公司的五轴联动叶片加工中心（图 6–15）。Starrag 五坐标加工中心采用向右侧推拉的操作门，其顶部护罩可和门一同打开，因此具有如下特点：方便工件的吊装，无切削液从顶部滴落，并方便主轴的更换；方便进入加工区域；对加工区具有良好的可视性；各轴合理配置，使其具有更高的动静态刚性和动态响应性；可适用于自动化生产。Ferrari 五轴联动叶片加工中心采用高速电主轴，具有较高的主轴转速、加速度和主轴刚性，配以 HSK 刀柄，是理想的叶片高速铣削加工设备。

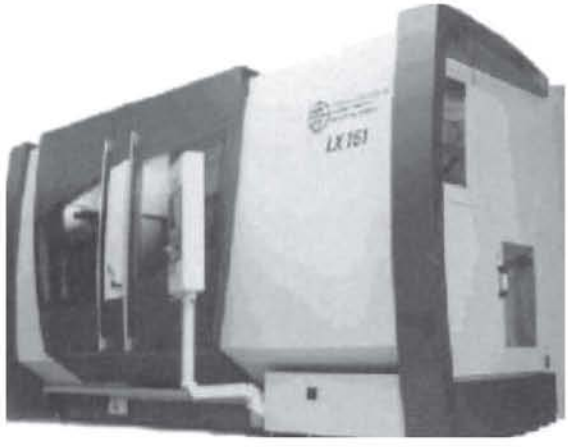


图 6–14　Starrag 公司的五坐标加工中心

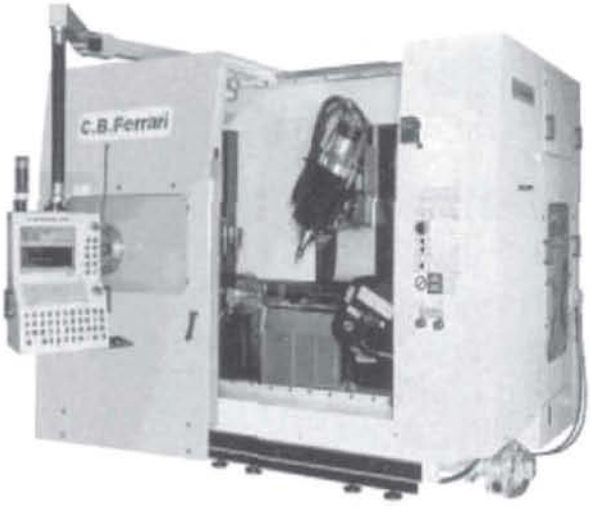


图 6-15 Ferrari 公司的五轴联动叶片加工中心

6）叶片加工需要专用的 CAD/CAM 软件工具，如 Starrag 公司的 RCS 叶片专业加工软件。

6.2.5 航空发动机盘轴类零件加工对机床工具的要求

随着数控技术的发展，航空发动机盘轴类零件的高效加工采用了数控车、双面车、铣车复合加工中心和内外圆磨等数控机床，应用可更换刀片的可转位机夹刀具。为适应航空发动机盘轴类零件精度、表面质量要求高、材料难加工等的特点，机床工具应符合下列要求。

1）由于航空发动机盘轴类零件采用航空难加工材料，在加工过程中会产生较大的切削力，因此要求加工机床和刀具应有较好的刚性。通常斜床身的数控卧式车床刚性较强，加工刀具悬伸较短且刚性较好。

2）数控车床等应有较高的定位精度和重复定位精度，能够满足盘轴类零件的加工精度要求。

3）薄壁盘类件可采用双面车削的加工方法，要求双面车数控机床具有多通道功能，能够实现同步功能。

4）长轴加工可采用铣车复合加工中心，采用阻尼减振加长刀柄进行空心长轴内孔的镗加工。

5）航空发动机盘轴类零件表面质量要求高，加工过程中要有抗疲劳和表面完整性的要求，因此加工盘轴类零件的数控车床等应具备圆弧过渡、样条插补等功能。

6.2.6 航空发动机机匣类零件加工对机床工具的要求

航空发动机机匣类零件结构复杂、尺寸大、材料难加工，要求其加工设备规格较大，刚性要好，具有加工复杂空间型面的功能。为满足机匣类零件高效加工的要求，机床应满足以下要求。

1）机匣类零件加工过程中材料去除量大、加工周期长，应采用强力铣削方法，在粗加工阶段去除大部分加工余量，给精加工留较小的、均匀的加工余量。因此，要求加工机床主轴刚性强，通常粗加工机床采用机械主轴。

2）机匣类零件内腔安装叶片的 T 形环槽精度要求较高，测量难度较大，采用的数控立式车床应配备机内对刀仪。

3）机匣类零件高效铣削时会产生大量的切削热，因此用于铣外形的五坐标加工中心应具有主轴内冷功能。

4）用于机匣类零件加工的五坐标加工中心应具有五轴加工功能，包括刀尖跟踪、矢量编程、3D 刀补、压缩器等功能。

5）用于机匣类零件加工的数控机床应有在线测量、刀具破损监控功能及自适应控制功能，并配置数据通信端口，能够实现加工过程实时监控。

6.2.7 发动机关键零件的主要加工设备

常见的发动机关键零件主要加工设备有：带 *A*/*B* 摆角铣头或 *A*/*C* 摆角铣头的五轴联动加工中心；五坐标叶片铣床；整体叶盘高效加工中心；工作台尺寸为 3 000mm×5 000mm 数控龙门镗铣床；精密数控立式车削中心；数控立式车床；精密数控车床；车铣复合加工中心；榫齿倒圆专用加工中心；激光熔覆加工机床；电火花铣削加工机床；数控卧式车床；数控立式磨床；数控缓进给磨床；端面弧齿磨床；高速转子叶尖磨床；700t 电动螺旋压力机；板类零件无模多点成形压力机；定向 / 单晶熔铸炉；用于叶片制孔的电液束流设备、小孔加工单元以及真空热处理炉等。

6.2.8 加工应用

1. 五轴联动数控机床

作为航空航天工业的核心加工设备，五轴联动数控机床正向高速、高效、高精度、智能化、复合化、环保化方向发展。高速和超高速加工对加工设备的要求如下：高的动态特性和控制精度；瞬间达到高速和在高速运行中瞬间准停；振动小、噪声低、运行平稳；可靠性高、寿命长。针对航空工业对高速的要求，在

各类线性驱动元器件中，选用 AC 直线电动机，它是大型、精密、高速数控装备的快速伺服进给系统中能满足上述要求的核心功能部件。近几年还出现一种由直线电动机与铝合金滚柱导轨组合的高速线性驱动部件。ZAYER 用于航空领域的 TEBAS 型号机床 v_{max} 设计参数为 50m/min，加速度为 4g，极大地满足了航空领域高速加工的需求。西班牙 SMA 公司和哈尔滨飞机集团合资成立的哈飞西玛优良公司，选用了大量的 ZAYER 高速加工设备。图 6–16 所示为其中一种。

图 6–16　ZAYER 用于航空领域的机床

在结构设计上，高速加工对机床结构有很高的要求。由于高速加工中的切削速度、进给速度和加减速度都大，因此机床的发热量、运动部件的惯量也大，容易导致机床结构的过量温升、热变形和产生冲击振动，最终影响到加工精度、质量乃至机床和刀具的工作寿命和可靠性。因此，高速加工对机床结构的基本要求，首先是要三高，即静刚度高、动刚度高和热刚度高；其次，运动部件要轻量化，即要尽量减少传动系统的惯量。为满足上述条件，ZAYER 各型号机床全采用整体铸造结构。

ZAYER 机床的特点之一是高效加工，典型应用是以小直径硬质合金铣刀对各种材料的模具、模型和钛合金件进行铣削。ZAYER 机床主轴转速是根据现代刀具材料所能达到的经济合理切削速度范围和不同的铣刀直径计算确定的。除切削钛或镍合金时刀具主轴最高转速可在 10 000r/min 以下外，ZAYER 机床切削其他材料所要求的刀具 / 主轴最高转速都在 10 000r/min 以上，甚至达到 20 000~

40 000r/min 的主轴转速。

ZAYER 机床选用最好的电主轴保证可靠性，通过交流变频调速和矢量控制来实现主轴的宽调速。它的优点是：不仅简化了主传动结构，减少主传动系统的转动惯量，而且降低了功耗，提高了实现更高主轴速度和加减速度的能力，从而也可实现定角度的快速准停（*C* 轴控制）功能。

ZAYER 机床具有多个附件铣头，每天都要更换高转速电主轴铣头和重切削铣头，而且全自动更换非常方便，更重要的是非常可靠。

为了支撑 ZAYER 机床的高速和高效加工，导轨系统为滚动和滑动复合的带有油膜的复合导轨，驱动系统采用双电动机电气消隙齿轮齿条系统（图 6–17）。

图 6–17　ZAYER 机床双电动机电气消隙齿轮齿条系统

未来数控机床的发展趋势主要是大型和重型，因而机床的行程越来越长，对精度的要求也就越来越高。要消除齿轮齿条传动中产生的背隙，有两种方法：一是机械消隙，二是双电动机电气消隙。机械消隙是单个电动机输入两个齿轮输出的形式，而双电动机消隙属于双电动机输入两个齿轮输出的形式。其中，双电动机消隙因其性能优越、精度高、成本低，具有良好的发展前景，在竞争日益激烈的市场中越来越受到航空航天客户的青睐。

2. 并联机床

（1）并联机床的局限　拥有独特加工优势的并联机床，自 1994 年起曾一度风靡全球，有人甚至将它的诞生称为 21 世纪的机床革命。但时至今日，尽管国内外专家学者仍在进行着不懈研究，并联机床产业化的发展进程却并不尽人意。是什么阻碍了并联机床的发展？究其原因主要有以下两方面。

其一，典型的并联机构，如由 6 根伸缩杆组成的 Stewart 机构，其工作范围有限，特别是动平台的姿态角范围一般在 30° 左右，意味着刀具可加工的区域很有限，这极大地束缚了其应用领域。

其二，为扩大并联机床的加工范围，人们尝试采用并联机构和串联机构相结合的混联技术构成新型机床，以期获得高度的灵活性和更大的加工范围。但无论是现存的哪一种结构，总体看来，2 自由度和 3 自由度活动关节的形式还是比较多。这不仅降低了机床的刚度和精度，也抑制了并联机床的运动部分发挥其重量轻、高速性能好的优势。

以国际知名的 Tricept 机床为例，其已将活动关节降到 7 个、18 个自由度，但刚性不足的问题依然存在，特别是在加工范围的边缘区域，这种缺陷更为严重。尽管一些专业厂家对并联机床的关节做了大量研究，并已在国际上面市，但由于其昂贵的价格和某些局限性，尚未在并联机床上得到广泛应用。可见，关节结构复杂且难以实现高刚性、适当成本的无间隙加工，制约了各类并联机床，特别是具有较大加工范围的混联机床的发展。

（2）并联机床的优点

1）敏捷加工。并联机床能轻松地使用激光或传统测头，并结合机床特有的五轴联动和高速度、高加速度运动的性能，在加工前就能测完工件基准，迅速建立起工件坐标。特别是对于那些表面很大且具有复合角度的工件，使用并联机床加工会相当快捷。

2）一次装夹加工。并联机床的主轴矢量方向可覆盖空间的任意方向，理论上讲，它通过一次装夹便可加工工件的所有面。如果再配上测头，那么所用夹具就无需精度很高，稳定性和刚性俱佳的低成本夹具即可满足需求。

3）复合角度加工。随着飞机设计日趋高级化，对复合角度和圆弧插补之类的复杂加工需求与日俱增。并联机床拥有高度动态性能，无论是加工垂直于某坐标轴的平面还是复合角度面，对它来说都并无差别，适用于各类复杂加工。飞机、火车等的零部件制造必然会要求更优化的加工技术，并联机床作为传统机床的一个有力互补，可胜任某些传统机床难以实现的加工。

4）多重路径混合及消除拖刀。用三轴传统加工来制备纯平表面也是个难题。而不管其主轴与工件表面是否垂直，并联机床都能根据一个按材料确定的倾角，便捷地进行预编程，只要是加工表面就用这个角度。尤其是加工钛合金等高硬度材料时，刀具背面不接触工件，有效地延长了刀具的使用寿命。

（3）传统数控加工的局限性　20 世纪 80 年代就已经采用大型龙门式五轴联动数控铣床加工飞机结构件。龙门式机床的工作台、横梁和主轴部件可实现 *X*、*Y*、*Z* 轴的移动，再加上摆叉式或万能式主轴头，实现 *A*/*C* 轴或 *A*/*B* 轴的 2 个回

转运动，构成五轴联动数控机床。

摆叉式或万能式主轴头的优点是主轴的偏转角度较大，可以实现矩形零件的五面加工。但是，尽管主轴头在单个轴线上可以达到很高的回转速度和加速度，但刀具空间定向速度仍然较低，因为主轴头的两个回转运动是串联的，不能完全同时回转，对机床 X、Y、Z 轴的补偿运动也不能及时反映。这种机构运动学上的先天缺陷，使龙门式数控机床不完全胜任飞机结构件的加工，或者说，加工效率不够理想。

此外，无论摆叉式主轴头或万能式主轴头，主轴头内部都有 3 个电动机。每个电动机要连接供电、冷却、润滑和位置检测等电缆或管道，相互之间还有位置转动，连接和密封结构非常复杂；加之主轴电动机内部还需要配置刀具夹紧装置，导致主轴头尾部各种电缆和管道多达数十根，维护极其不便。

（4）并联运动机构的运用　为了解决传统数控加工缺点，德国 DS-Technologie 公司按照飞机结构件加工工艺的特点，独创性地推出采用并联运动机构的 Sprint Z3 型主轴头，其内部构造如图 6-18 所示。

图 6-18　采用并联运动机构的主轴头

可见，3 个伺服电动机通过滚珠丝杠驱动 3 个按 120° 分布的滑板，使其沿着各自的线性导轨移动，然后滑板带动摆动杆，通过万向铰链驱动运动平台，构成三杆并联运动机构，使安装在运动平台上的电主轴可向任何方向作 45° 偏转，偏转定位速度达 80°/s，加速度为 685°/s^2，主轴在 Z 轴方向的最大行程可达

670mm。

应该指出的是，Sprint Z3 型主轴头的所有零部件，包括伺服电动机、电主轴、线性导轨、轴承和万向铰链都是经过实际考验的标准化零部件，由专业厂家生产，在各种数控机床中已经获得广泛的应用，机构的可靠性能够获得充分保证。主轴头中尽管有 3 个伺服电动机和 1 个电主轴，但它们相互之间是独立的，各自的电缆和管道没有任何联系，这就省去了复杂的连接和密封结构，大大简化了主轴头的维护工作。

电主轴是套装式的，可以安装不同规格型号的电主轴，如 80kW、30 000r/min、46N·m 或 75kW、24 000r/min、72N·m 的电主轴，以及不同的刀柄接口，如 HSK–A63 或 HSK–A63/80。电主轴的更换也非常方便，可在 2h 内完成。图 6–19 所示为 Sprint Z3 型主轴头的外观。

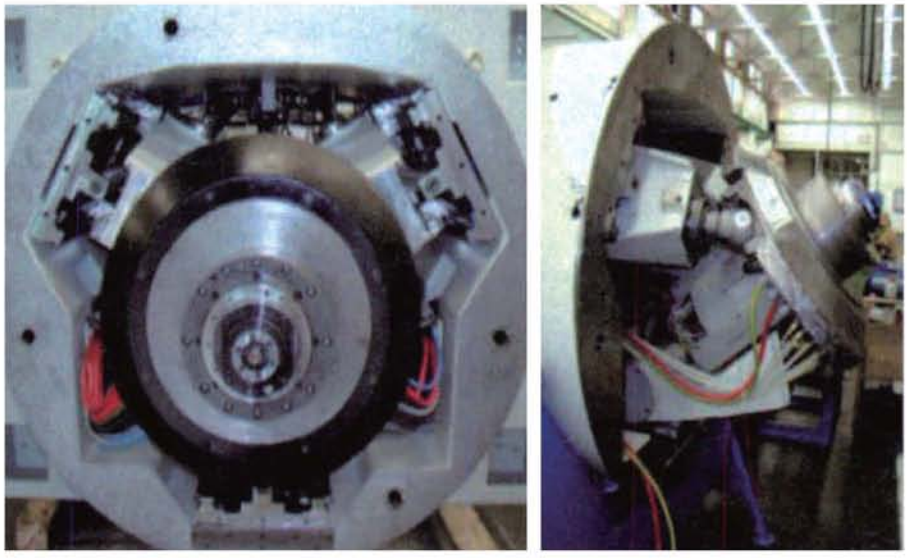


图 6–19　Sprint Z3 型主轴头的外观

（5）高性能数控加工中心　DS–Technologie 公司在 Sprint Z3 主轴头的基础上，推出加工飞机结构件的高性能数控加工中心 Ecospeed，如图 6–20 所示。从图中可以看出，Sprint Z3 型主轴头配置在沿 X 轴向移动的立柱上，并且可沿立柱上的线性导轨沿 Y 方向移动。这种配置的特点是所有运动都由刀具完成，而工件是固定不动的，这对大型飞机结构件的加工是非常有利的。此外，也是非常重要的一点，该机床的工作台可以翻转 90°，使工件可以在水平位置装卸，而在垂直位置加工，从而使高速切除的大量切屑得以迅速排走。

Ecospeed 加工中心移动部件的惯量小，可使主轴的 X 轴向移动速度达到 65m/min，Y 轴和 Z 轴向移动速度达到 50m/min，所有轴的加速度达到 1g，从而保证了机床具有良好的动态性能。

按照机床配置的不同，主轴的 X 轴向移动距离可从 3 300mm 到 15 800mm。由于移动距离大，故床身采用立式龙门结构。立柱沿床身的移动由电子控制的无间隙齿轮齿条机构驱动。

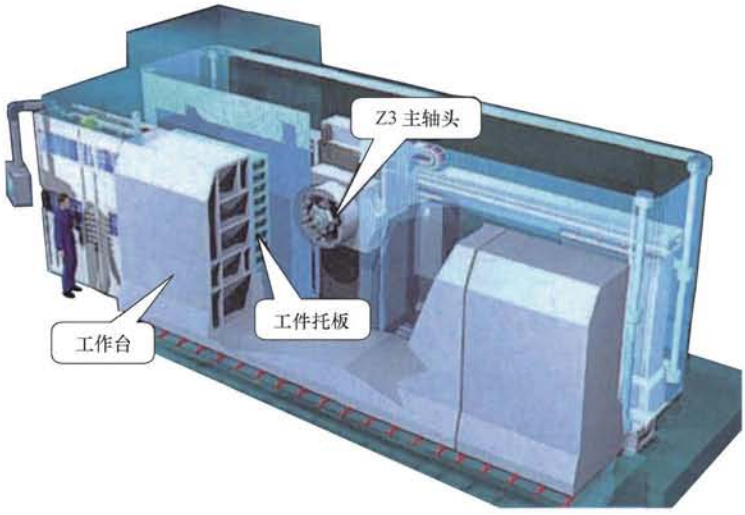


图 6-20　Ecospeed 高性能数控加工中心

Ecospeed 数控加工中心具有加工效率和加工精度高、表面质量好、加工后的飞机结构件无需手工打磨等一系列优点，在欧洲许多飞机制造厂获得了应用，美国 Cincinnati 机床公司也从德国引进了 Sprint Z3 主轴头制造技术。

2004 年，DS-Technologie 公司在 Sprint Z3 主轴头获得巨大成功后，推出加工中小型零件的 Ecospeed F 系列加工中心，其特点仍然以 Sprint Z3 主轴头为基础，但立柱固定，工作台作 X 轴向移动，托板最大尺寸为 7 000mm×2 200mm。用该机床加工高强度飞机铝合金，金属切除量达到 8 000cm^3/min。

F 系列的最新产品是 Ecospeed F HT 高性能数控加工中心，如图 6-21 所示，它不仅适用于加工铝合金，也可用于加工钢和铸铁，用户对象除飞机制造工业外，有望在汽车工业和模具工业获得推广。

Ecospeed F HT 数控加工中心的配置特点是采用链式刀库和固定式可交换工作台，尺寸有 630mm×630mm、800mm×800mm 和 1 000mm×1 000mm 三种，同时可配置不同规格的电主轴，从 20kW 和 12 000r/min，到 80kW 和 30 000r/min。

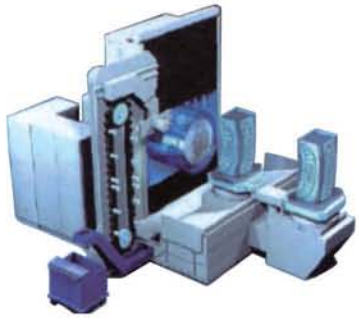


图 6-21　Ecospeed F HT 高性能数控加工中心

DS-Technologie 公司在 Ecospeed 加工中心的基础上，还生产用于加工细长飞机结构件的机床，如机翼蒙皮纵桁的专用数控机床 Ecoliner。该机床仍采用 Sprint Z3 主轴头，X 轴向移动距离可达 30 000mm，Y 轴向最大移动距离为 1 700mm。所有方向最大移动速度皆为 50m/min，加速度为 5m/s^2。为了提高加工效率，在机床全长上可以配置两个带 Sprint Z3 主轴头的立柱，同时分别加工飞机细长结构件的不同部分。

（6）应用案例　欧洲航空国防和空间公司（Europe an Aero-nautic Defense and Space Company，EADS）的德国奥格斯堡工厂是生产欧洲战斗机和空中客车结构件的主要工厂之一，也是最早购置 Ecospeed 加工中心的厂家。欧洲战斗机的机身中段是该厂的典型产品，其数字模型及底层结构件如图 6-22 所示。

图 6-22　欧洲战斗机中段结构的数字模型及底层结构件

欧洲战斗机机身中段由若干机身截面框架和底层框架组成，所有框架结构件皆采用整块铝合金毛坯加工而成。

现以机身中一个底层框架零件为例，它的尺寸为 1 920mm×1 161mm×116mm，质量为 17.4kg，金属切除高达 95%，空穴和孔数达 104 个，最大空穴尺寸为 120mm×100mm，最小壁厚为 2mm。

为了提高结构件加工的经济性，采取高性能切削策略，即切削刃上的表面速度和金属切除率都尽可能高。

加工时采用直径为ϕ16mm、半径为R4mm的球头铣刀，刀具偏转角度±22°。

粗加工时，使用主轴80kW的全部功率，侧吃刀量a_e=4mm，背吃刀量a_p=6mm，主轴转速n=24 000r/min，进给速度f=12 000mm/min，金属切除率高达7 000cm^3/min。

精加工五轴联动时也采用极高的进给速度，表面质量获得明显提高，无需人工打磨和抛光，节约了加工时间，降低了加工成本。

3. 数控液压金属板材加工中心

（1）薄板（铝板）加工　航空航天领域对材料的要求很严格，在保证相关性能的前提下，材料的重量越轻越好，所以铝材就显现出其重要性。

在实际生产应用中，用户根据其产品特点提出了如下要求：产品大部分为铝板，所加工的板材厚度大部分集中在1mm以下，最薄可到0.3~0.4mm；表面不能有划痕。用户考察了国内外的冲压设备（如数控转塔冲床），发现转塔冲床很难满足用户的要求，原因如下：以加工0.4mm的薄板为例，其要求模具之间的间隙为0.08mm（模具上、下模双边间隙按所加工板厚的20%计算），而转塔冲床的模具需要分别装在上、下转塔之上，下模与模座以及模座与下转塔之间都存在较大的配合公差，加之上、下转塔之间的上、下模具对中是靠驱动转塔旋转的链条来保证的，这就导致了上、下模具的对中要定期进行调整，并且累积的多重公差均无法满足模具加工薄板时的间隙要求，很难加工板厚$d \leqslant$ 0.5mm的薄板。此外，由于板材在加工过程中总是在上、下转塔之间移动，板材下表面与下转塔上的模具发生摩擦并产生划痕，会直接影响产品的外观，尤其是加工镜面板材和表面敏感的高附加值材料时，这是不允许的。

通快公司的数控液压冲床（又称数控液压金属板材加工中心，简称高速冲床）能很好地满足用户的要求：首先，加工的板材厚度范围比较宽，最大可冲8mm厚的钢板，最薄可加工0.2mm厚的铜板。为什么通快的高速冲床既可以加工薄板也可以加工厚板呢？主要是通快高速冲床在结构上与转塔冲床有本质的区别：通快高速冲床采用直线模具库，没有沉重的转塔，电液驱动的冲头使模具与冲压机构形成刚性连接强制回退，能承受很大的偏心负载，不存在像转塔冲床那么多重累积公差，因此就能保证加工薄板所需的间隙要求；同时，模具装在直线模具库上，在

加工时模具库上的模具与板材不接触，也就不会像转塔冲床那样产生大量的划痕。此外，通快公司的数控液压冲床的所有模具（包括成形模具）均能 0° ～ 360° 范围内以任意分度旋转加工，极大地提高了柔性并降低了生产成本。

（2）不锈钢多孔加工　散热器上的不锈钢多孔工件，要求在板厚 2mm 的不锈钢板（200mm×200mm）上冲 2 500 多个直径为 2mm 的圆孔，冲成筛网。加工完毕后产品只允许有很少的变形，同时保证废品率最低。原则上，2mm 的圆冲模只能加工 2mm 的低碳钢，而不锈钢的抗拉强度大于低碳钢，因此，要在 2mm 厚的不锈钢板上冲直径为 2mm 的圆孔，对机床和模具提出了更高的要求。通快特殊的模具结构（上模、压料板和下模），可以通过对压料板进行程序控制来进行压料冲或脱料冲，本例中由于密孔工件在加工后存在一定的变形，所以采用压料冲，即在冲压过程中对压料板进行压料以减少板材的变形。同时，机床标准配置真空吸废料装置，即使是细小的废料也不会被冲头带走，保证了低的废品率。在加工过程中，成品也可以直接落入成品收集箱而无需像转塔冲床那样进行微连接，极大地提高了生产效率和降低了劳动强度。

对于转塔冲床而言，其模具和导套是一体的，加工密孔时无法防止板材的变形，有时甚至会出现由于板材变形过大与上、下转塔产生相互干涉和卡死，造成机床停机，即使勉强加工出来，零件仍需校平后才能使用。同时，冲小孔（$d \leqslant 5$mm）时，由于其冲头直径太小而无法安装退料胶，致使带料现象比较严重，废品率居高不下。

（3）精密多孔工件加工　在板材加工过程中，比较具有挑战性的是在 0.8mm 厚的不锈钢板（工件尺寸 1m×2m）上冲成百上千的圆孔，同时还要保证孔与孔之间中心距的精度。其技术要求是保证 ϕ4.6mm 圆孔和 ϕ6.2mm 圆孔及 ϕ15.5mm 圆孔按一定规律均布，各孔之间的中心距误差不超过 ±0.05mm（精度合格率要在 90% 以上）。同时，在保证技术要求的前提下，尽量减少加工时间。

在板材变形非常大的情况下，在 0.8mm 厚、尺寸为 1m×2m 的不锈钢板上冲成百上千的圆孔，又要保证孔之间的中心距，其难度可想而知。采用通快公司最先进的 TC5000R 型的高速液压冲床进行试验，精度合格率满足要求，全部加工时间仅为 410s。所有这些，都得益于通快公司 TC5000R 型高速液压冲床独特的压料板程控技术，既能保证在板材加工后变形的情况下进行高速加工，也能保证尺寸精度。

通快 TC5000R 型高速液压冲床的冲速可达 1 200 次 /min，打标雕刻速度达

2 800 次 /min，X、Y 轴联动速度可达 116m/min，分度旋转 C 轴转速为 5.5 r/s，可以在加工过程中实现无极调速；同时，X 轴最大加速度可达 20m/s^2，Y 轴最大加速度可达 10m/s^2，并且如此高的加速度在板的质量不超过 50kg 的前提下仍能维持不变，从而真正实现高速加工，使机床的效率成倍提高。

4. 复合加工技术的应用

复合加工技术在航空发动机零件加工领域主要应用于两个方面：① 难加工的脆硬材料和复杂薄壁弱刚性结构零件加工，如陶瓷基复合材料、超硬合金材料、蜂窝结构薄壁零件、化学铣结构机匣等零件。② 多工序集成、自动化加工。航空发动机机匣、整体叶盘等零件结构复杂、加工特征多、加工余量大，高压压气机前机匣有数百个叶片安装孔，采用普通的钻、扩、镗、铰分工步加工方法，存在加工效率低、一致性差等问题。可以采用复合刀具实现钻、扩、镗、铰多工步复合加工，节省安装调试刀具等辅助加工时间，能够提高加工效率，提高加工自动化程度。

（1）车铣复合加工技术的应用　航空发动机轴类及盘轴一体化零件有许多键槽、孔、花边等加工特征，不仅需要车削加工，而且还需要镗铣加工，传统的加工方法采用车削加工和镗铣加工分工序独立完成，存在二次装夹，需找正定位误差，影响加工精度和效率。盘轴一体结构零件的车铣复合加工如图 6–23 所示。

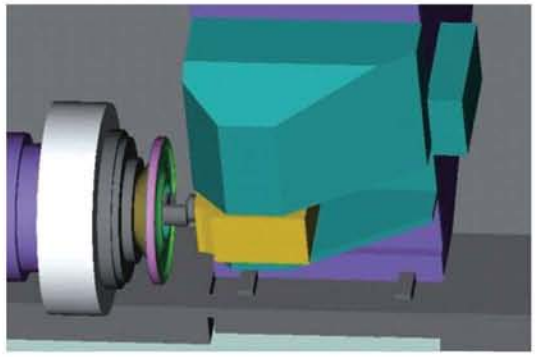


图 6–23　盘轴一体结构零件的车铣复合加工

1）传统加工工艺路线：毛料图表→修前端基准→粗车后端→粗车前端→超声波检查→半精车后端→半精前车端→热处理→修前端基准→半精车后端→半精车前端→清洗→腐蚀检查→清洗→精车后端→精车前端→镗后端孔并铣键槽→镗径向孔并铣键槽→中间检验→喷丸强化→喷涂→车磨涂层→平衡→最终检验。

2）车铣复合加工工艺路线：毛料图表→修前端基准→粗车后端→粗车前

端→超声波检查→半精车后端→半精车前端→热处理→修前端基准→半精车后端→半精车前端→清洗→腐蚀检查→清洗→精车后端并镗孔→精车前端并镗孔→中间检验→喷丸强化→喷涂→车磨涂层→平衡→最终检验。

3）车铣复合加工的优势：与传统加工方法相比，车铣复合加工工艺工序更为集中，加工自动化程度更高，减少了工序之间的周转时间，降低了重复装夹、找正时间，提高了加工效率，同时避免了重复装夹定位的精度误差，有利于保证加工精度。

（2）车铣复合加工技术的应用　车铣复合加工技术常用于机匣等大型薄壁壳体类零件（图 6–24）。该类零件因尺寸大、壁厚薄，用普通加工方法时，车加工后零件容易产生变形，通常机匣外形铣加工和孔加工安排在车加工后进行，但是因薄壁机匣变形，二次装夹、找正极为困难，采用内胀夹具，效果也不理想，并且存在加工成本高、加工效率低、加工质量难保证等问题。

图 6–24　铣车复合加工的机匣

若采用立式车铣复合加工中心，将薄壁机匣内腔车削加工、外形铣削加工、导向叶片安装孔、探视孔和安装边定位连接孔钻、扩、镗、铰，多种加工工序合并在一道加工工序，实现车、铣、钻、镗复合加工，能够达到节省刀具、夹具，提高加工效率，保证加工质量等目的。车铣复合加工具有如下优点：

1）采用车铣复合加工方法可合并加工工序，缩短工艺路线，提高加工效率。

2）将机匣内腔车削加工、外形铣加工和孔加工合并为一道加工工序，能够节省 2 套夹具。

3）消除二次装夹、找正误差，有利于保证机匣壁厚尺寸和孔位置精度合格。

4）在机匣内腔车削加工中，利用五轴加工刀具摆动功能实现一把刀加工多表面，消除接刀痕迹，提高表面质量，节省专用刀具，降低刀具消耗。

5）将机匣内腔车削加工、外形铣加工和孔加工合并为一道加工工序，减少了装夹、找正等辅助加工时间和人工干预程度，有利于通过数控程序控制，提高加工过程自动化水平。

（3）电火花铣削复合加工技术的应用　电火花铣削常用于机匣、整体叶盘类零件的粗加工。该类零件的特点是毛坯余量大，材料难加工，采用普通数控铣削加工，加工周期长、刀具消耗大。采用电火花铣削加工方法，能够节省较高的刀具费用，并且因电火花铣削加工几乎没有切削力，不需要复杂的夹具支撑，通常结构简单、凸台较少的机匣更适合电火花铣削加工，如图 6–25 所示。

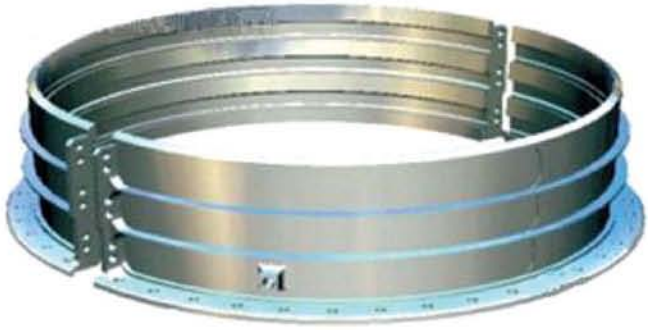


图 6–25　电火花铣削复合加工机匣

电火花铣削加工路线与数控铣削加工路线有较大的差别，编制机匣电火花铣削加工程序需注意铜管电极端部放电造成零件根部过切，通常在零件根部和拐角处留有适当的余量；在电火花铣削加工中，电极的损耗是必须考虑的事情，需要及时进行电极补偿，否则会造成加工余量不均等问题；电火花铣削的参数设置是电火花铣削加工工艺的关键，合理设置电火花铣削参数，能够保证加工质量，减少电极消耗。通常需要针对不同材料进行充分的试验，才能合理设置电火花铣削工艺参数。

（4）化学铣削加工技术的应用　化学铣削复合加工技术常用于薄壁、带有多重筋肋的弱刚性机匣等结构件的加工。化学铣削结构零件特征如图 6–26 所示，该类零件壁薄，易变形，材料去除量大，加工周期长，刀具消耗大。采用化学铣削加工时，涂覆抗腐蚀可剥落涂料，将零件非加工表面保护起来，利用化学腐蚀

液去除零件材料。化学铣削的优点是：一次加工面积大，加工效率高；化学铣削加工几乎没有加工应力，加工变形小；化学铣削加工不需要加工刀具，节省大量刀具费用；化学铣削设备的每小时费用远远小于五坐标加工中心，能够节省大量工时费用。一般而言，采用铣削、磨削等机械加工方法，加工切削力大，被加工表面易产生变质层，影响零件的表面质量；相比之下，化学铣削加工效率高，不存在工具损耗且无切削力，零件表面质量好。

图 6-26　化学铣削结构零件特征

（5）电火花磨削复合加工技术的应用　导向器组件都是大尺寸的薄壁件，刚性很差，其蜂窝内表面粗糙度和尺寸精度要求较高。采用普通数控车削和磨削加工，加工表面的蜂窝孔壁翻卷，产生大量毛刺，将孔眼堵塞，难以清除，不能满足零件表面的要求。蜂窝件结构的特点决定了采用电火花磨削和电解磨削加工工艺最为适宜。

导向器蜂窝件待加工面为大直径孔或阶梯孔，加工余量小于 3mm，且沿圆周各处加工余量分布不均匀，有时相差较大，因此在径向进给电火花磨削加工时，零件作自主转动，电极沿零件作全孔深径向进给。加工时，电极与零件之间的放电间隙可通过伺服控制保持相对稳定。这种加工方式类似仿形车削、磨削加工，在加工中仿照被加工孔原有的形状，作径向跟踪仿形扩大加工。

（6）电火花打孔技术的应用　航空发动机燃烧室火焰筒类零件带有许多气膜孔，多达成百上千个，并且都是直径 ϕ1mm 左右的微小孔，采用传统的机械

加工方法很难加工。火焰筒内壁为薄壁易变形机匣类零件，属于航空发动机高温部件，采用高温合金材料，零件最大外径为 ϕ740.7mm，高为 92mm，最小壁厚为 1~0.25mm，零件分布气膜孔为空间斜孔，包括 532 处 ϕ1mm+0.1mm、196 处 ϕ1.1mm+0.1mm、336 处 ϕ1.2mm+0.1mm 的空间孔。采用机械加工的方法加工孔径在 ϕ2mm 以下的小孔时，加工过程中钻头容易断裂，很难保证技术要求，特别是在机匣斜壁处钻孔，由于切削力的作用，钻头往往偏离实际加工位置。而采用电火花设备加工孔，加工直径最小达到 0.3mm，而且可以采用多轴同时加工，大幅度提高加工效率。

随着科学技术的发展，新产品、新材料不断推出，为适应新型复杂结构、难加工材料加工的需求，现代加工技术已经不是单一的学科技术，而是逐渐趋向于多元化、多功能、自动化、柔性化。绿色环保是现代加工技术的基本要求，同时，现代加工技术还关注于加工精度、加工效率、加工质量和加工成本。而实现高精度、高效率、低成本的途径就是多种加工技术的综合和集成。现代许多先进加工技术是多学科、不同加工方法复合的结果，包括传统加工技术中不同加工方法的复合、机械加工与电加工的复合、化学加工与电加工的复合等。复合加工技术已经成为解决航空难加工材料、复杂薄壁结构零件加工，实现加工过程自动化，提高加工效率的重要途径。航空发动机制造技术被称为制造技术的明珠，零件加工中采用了大量的复合加工技术。复合加工技术不再局限于特种加工技术的复合，已经发展到不同种类加工技术的复合，其发展体现在以下几个方面：趋向于多元化和多样性；精密加工和超精密加工；多功能和自动化方向发展；绿色和环保方向发展；多学科技术方向发展；冷热结合；去除材料和增加材料相结合；多工序复合。

复合加工技术在航空发动机制造领域广泛应用，解决了复杂结构零件、难加工材料的加工难题。例如：采用振动钻孔、振动攻螺纹解决了细长孔加工难题，采用振动光饰解决叶片表面抛光难题；采用镗铣、车铣复合多功能加工中心实现了多工序集中复合加工，减少了工序周转和辅助加工时间，减少了人为干预，提高了自动化加工水平，为加工过程全程序化控制奠定了基础，保证了零件加工质量的稳定性和可靠性。

6.3 开发适用于轨道交通行业需求的数控机床

铁路“十二五”发展规划中提出，到 2015 年全国铁路营业里程将达 12 万

km 左右，基本建成规模超 4 万 km 的快速铁路网，铁路复线率和电化率分别达到 50% 和 60% 左右。

以高速和提速、重载为重点的中国铁路建设与改造，已经步入了发展的“快车道”。根据国务院批准的第一批城市轨道交通项目规划，到 2015 年，中国将在 22 个城市建设 79 条城市轨道交通线，总长 2 259.84km，总投资 8 820.03 亿元。中国铁路的蓬勃发展对于机床行业来说是重大利好，蕴藏着巨大的商机。轨道交通行业已成为当今中国机床工业非常重要的市场。城市轨道交通的大规模建设和规划，必将带动加工机床需求的增加。轨道交通行业对机床的需求是多方位的，如大型铣床、磨床、重型机床等加工设备。

6.3.1 轨道交通行业对机床的需求

按照产品和业务分工来看，轨道交通行业对机床的需求大致可以分为以下四个层面：首先是轨道加工和高速铁路路枕加工；其次是机车和车辆制造；第三是车轮和车辆零部件的制造；第四是轨道交通运行的日常维护和维修。这些都急需通用数控金属切削机床，如加工中心、数控立式车床等，也需要专用数控金属切削机床，如轨道板磨床、车轨磨床等，还需要压力机、折弯机等成形机床。

以机车和车辆制造为例，原铁道部所属的中国南车集团（以下简称“中国南车”）和中国北方机车车辆工业集团公司（以下简称“中国北车”）仅 2009 年用于机床采购的金额就高达 50 亿元。如果将其他三方面的需求考虑在内，那么到 2012 年的 4 年间每年用于机床采购的金额就达 70 亿元。

（1）轨道加工和高速铁路轨枕加工　提速和高速轨道的建设以及改造需要新型提速道岔，对数控道岔铣床、道岔磨床的需求将进一步增长。高速轨道铺设在完全不同于枕木的轨道板上，需求专用数控轨道板磨床，根据目前掌握的情况，大约每百公里需配置一套。

（2）机车和车辆（包括动车组）的制造　动力部分，电力机车和电传动内燃机车（这是铁路规划中重点发展的车型）对机床的需求有较大区别。电力机车加工重点是电机定子、转子和电机轴等，而电传动的内燃机车加工重点是柴油机、发电机以及传动件。走行部分，最关键且加工量最大的是转向架部件（又称台车，包括机架、牵引杆装置、横向调节装置、悬挂装置、摇枕、旁承、基础制动装置、轴箱等）。不同机车车辆和不同速度下的机车车辆转向架在结构上具有一定的差异。车体部分，不同机车车辆的车体基本上是一个钢制框梁结构，需要进行局部面和孔的加工。总体而言，这些加工属于一般性机械制造和柴油机制造

范畴，通用性机床和专用机床需求较多，如大中型立卧加工中心、龙门加工中心、数控镗铣床、数控立车、数控精密磨床、珩磨机、曲轴车床、铣床、凸轮车床和凸轮磨床等，其中的凸轮车床和凸轮磨床进口较多。此外，机车车辆棚盖制造中还需要数控压力机、数控折弯机和锻压机，铝合金型材加工需要4轴以上龙门高速加工中心，主轴转速6 000r/min以上，X轴、Y轴、Z轴行程分别为60m、4m、5m。

（3）车轮和车轴制造　据有关单位的调查统计，由于车轮和车轴属于消耗性零件，每年用于新增、更新、检修更换、出口以及城市轨道和厂矿（铁）路外的车轴需求量达55万根以上，车轮的需求数量更是数倍于此。鉴于车轮和车轴与行车安全直接关联，目前经原铁道部批准生产车轴的企业只有10家，面对如此需求规模，预计对机床的需求将有大的增长。带自动上下料的数控立式车床、数控卧式车床、数控外圆磨床、车轴铣端面三孔机床等是主要需求的机种。此外，生产线方式是未来发展的趋势，如车轴精锻线、车轴加工生产线、车轮机加生产线、车轮精轧和精铸生产线等。

（4）机车车辆运行中的日常维护和维修　铁路日常维修服务的主要内容之一是保障车轮和车轴的完好，对磨损的车轮、轴承及时进行修复和更换，并在更换轴承时对车轴进行修理，主要由遍布铁路沿线的机务段（分为内燃段和电力机务段）和车辆段负责。因此，用于车辆轮对（车轴和车轮的组合体）轮缘和踏面修理的数控车轮车床、用于机车轮对在不解体工况下轮缘和踏面修理的数控不落轮对车床、用于车轴及轴承等修理的外圆磨床（磨削轮对车轴）是必配的设备。目前轮对上带制动盘的车辆越来越多（原低速车辆制动部位在踏面上，不存在此问题），用车轮车床在加工修复车轮的同时，还必须考虑制动盘两侧制动面的修理与加工。随着铁路部门的改革深入和列车跨局长途运行，维修工作量也在大幅度增长，维护维修工作将越来越集中到枢纽地区的机务段和车辆段，以门式车轮车床为核心的包括超声波探伤和磨耗测量并自行恢复原型最小切削量的生产线，将成为未来的发展方向。此外，随着我国铁路的发展，在线路的养护方面自动化程度也越来越高，养路机械需求剧增，2012年还配备了1 000台大型养路机械，这也是值得机床行业关注的一个增长点。

6.3.2　机床企业竞相参与中国轨道交通行业所需机床的竞争

中国轨道交通行业的快速发展以及对机床产品的巨大需求，促使众多机床企业纷纷出招，力争在这个新兴市场中分得一杯羹。

德国知名机床企业德马吉集团，紧扣市场，对中国政府大力扶持的轨道交通、能源等行业，早已做好充分准备。据透露，德马吉集团的铣车复合中心DMU125FDduoBLOCK 和 DMC125FDduoBLOCK 已经成功应用在智奇铁路设备有限公司的动车车轮加工。智奇铁路设备有限公司（以下简称“智奇公司”）是山西煤炭进出口集团有限公司、博宥投资管理集团有限公司与意大利路奇霓铁路产品集团组建的合资企业，于 2007 年成立。公司拥有车轮加工线、车轴加工线、轮对组装线和轮对检修线，是高速铁路动车组轮对的国际级专业化制造商，其产品覆盖了中国高速铁路和谐号动车组时速 200 ～ 380km 的轮对，以及时速 400 ～ 500km 超高速试验列车的轮对。目前智奇公司拥有 6 台 DMG 铣车复合加工中心 DMC125FDduoBLOCK 和 1 台 DMU125FDduoBLOCK。作为一条精通于轮对加工的生产线，不管是大型工具或是模具制造，还是机械、汽车、模型、仪器制造，还是在航空航天工业，只要是成批加工大工件，DMU/CFD 型铣车复合加工中心都会大显身手，以最适合大工件加工的龙门结构作为机床设计，最大程度地体现了机床结构的刚性，同时热对称结构具有液体冷却式滚珠丝杠传动机构，并且在所有轴内具有冷却进给电动机，因而最大程度地保证了持久精度。DMG 机床用于智奇动车车轮加工时，一次装夹就可以完成车削、钻孔、镗孔、倾斜注油孔的全部加工。此外，双交换工作台的结构设计使工件的辅助装夹时间几乎为零。

原铁道部下属各车辆段新建项目、高铁及动车组检修基地、各机车厂新建新型机车及车辆项目，以及专业铁路车轴制造企业等，都有大批量采购高性能的数控车轴磨床的市场需求，国内机床企业加快科技研发，不断适应市场需求。上海机床厂有限公司（以下简称“上海机床厂”）自 2009 年 8 月启动实施 H235 铁路专用数控车轴磨床项目；2010 年 8 月，最新一代 H235 铁路专用数控车轴磨床通过验收并交付客户，成为市场拓展的一大亮点。在该款磨床的研制过程中，技术研发部门首先在国内推出了具有自主知识产权的车轴锥度磨削自动调整机构，其回转精度达到 0.005mm 以上。这项技术成功地解决了车轴落座锥度磨削的高精度控制并大幅度提高了磨削效率。此外，最新型的自动测量装置、与原铁道部标准要求相配的自动生产线的接口配置、最新型的高效率磨削装置及为车轴磨削提供数据化和信息化而增配的机床控制功能等技术的综合应用均为国际首创。这款磨床的车轴磨削精度达到 0.002mm，外圆磨削的效率至少提高一倍以上，其产品及技术为铁路车轴的高精度、高效率、高信息化的加工，乃至新一代铁路系统的高端建设提供有力支撑。上海机床厂在短短一年时间内已获得十余台订单，客户

包括原铁道部下属各路局和检修基地、中国南车集团及中国北车集团、铁路车轴专业制造企业等。

作为欧洲大陆最具实力的工业集团之一的达诺巴特集团，为了能够成为铁路行业的专家企业，特别成立了达诺巴特铁路系统公司，为火车转向架、车轴和车轮厂家提供最好的解决方案。2008 年 10 月 23 日，达诺巴特与俄罗斯第一大铁路货运车厢厂家 T.V.S.Z. 公司签订了价值超过 5 000 万欧元的合同。这是西班牙机床业有史以来最大的一笔合同，包括高科技的火车车轴设计，并提供一条柔性全自动化生产线。作为世界上有限的（轮对加工）专业公司之一，达诺巴特集团的解决方案可以填补世界范围空白。

达诺巴特集团最重要的用户是欧洲铁路车轮协会（ERWA）成员，该集团几乎在 ERWA 的所有成员中拥有用户。达诺巴特集团铁路系统公司的目标不仅是提供设备，也是用户的技术伙伴，为用户提供工程服务。服务贯穿于整个规划和装配过程，以及产品的后续使用。

达诺巴特集团提供所有加工操作，从钢轮的切削到轮对的平衡及非破坏性测试和自动上料系统；按不同的加工需求提供给用户大量的经验，实现完整的加工过程，同时提供轮对维护解决方案。此外，达诺巴特集团还提供无需将轮对从火车上拆卸下来进行翻修的方案。

除了轮对的翻修解决方案，达诺巴特铁路系统公司还开发了铸铁转向架加工的解决方案（用于货车的 3 件结构），在高速卧式加工中心上通过旋转装置（*B* 轴）及专用的机床夹具来加工。

零件形状的复杂性（支撑和边框），使自动化节省时间成为最基本的需求，解决方案基于高生产率的需要。与竞争对手相比，达诺巴特集团的解决方案实现了时间短（在上 / 下料和加工）和高精度加工结果。

6.3.3 轨道交通行业的机床需求

近年来，为了适应不断发展的市场需求，中国南车集团主要增添或引进的机床有：国产和进口的立式、卧式加工中心（适合零件包括连杆、汽缸盖等）；龙门式加工中心（适合零件包括机体、构架等）；车铣加工中心（适合零件包括凸轮轴、曲轴）；镗铣加工中心（适合零件有抱轴箱等）；曲轴、凸轮轴专用磨床，以及立式双磨头磨床等。加工中心占地面积小，功能较全，加工质量高，可靠性高，操作者体力消耗小。

以曲轴为例，一台车铣中心可实现以前需要由 6 ～ 7 台机床才能实现的车、

铣、钻、扩、铰等加工功能，包括曲轴的主轴颈、连杆颈和曲柄的所有加工、法兰孔的加工、键槽加工、螺纹孔的加工、主油孔和斜油孔的加工等，减少了装夹次数，提高了产品精度，同时可大大减少试制新产品的工装准备，机床的加工柔性大大加强；同样，一台曲轴随动磨床，可替代原来的普通大型外圆磨床和连杆颈曲轴磨床，具有两台磨床的功效，而占地面积仅是一台磨床所占面积。

轮对是机车车辆上与钢轨接触的部分，由左右两个车轮牢固地压装在同一根车轴上组成。轮对的作用是保证机车车辆在钢轨上的运行和转向，承受来自机车车辆的全部静、动载荷，把它传递给钢轨，并将因线路不平顺产生的载荷传递给机车车辆各零部件。此外，机车车辆的驱动和制动也是通过轮对起作用的。车轴和车轮的组装压力和压装过程有严格的要求，轮对内侧距离必须保证在1 353mm±3mm 的范围以内。为保证机车车辆运行平稳，降低轮轨相互作用力和运行阻力，车轴轴颈和车轮踏面的加工椭圆度和偏心度，以及轴颈锥度都不得超过规定限度。

当前，铁路车辆普遍采用磨耗型踏面轮对。这种轮对在使用一段时间后，由于轮缘、踏面磨耗到限或踏面剥离、擦伤等，轮对必须返厂修理，其中旋修轮对踏面是一项重要的检修内容，而数控车轮车床正是旋修轮对踏面的设备。

数控车轮车床具有如下结构和使用特点：

1）可同时用两个刀架在自动状态下车削新轮对和已磨损轮对的踏面，车内、外侧端面，镗两车轮（整体辗钢轮和轮箍车轮）的极限加工槽。

2）可预先测量型面的磨损，并将金属切削刀具自动调整到可减少金属切削量的最佳切削深度上。

3）高的加工精度和良好的重复性。

4）结构紧凑，传动装置简单，工作可靠性和经济性高。

采用数控系统能保证加工的经济性。在加工程序中储存有带预定轮缘宽度的轮对型面。数控系统可自动确定并设置加工量，这样可保证以最小切削量获得最近等级的轮缘宽度，而无需为了获得最佳型面而让机床针对每个被加工轮对重新调整。

6.4 开发适用于船舶行业零件加工的数控机床

船舶工业是一个技术密集、资金密集和劳动密集型产业。近 10 年来，中国船舶工业利用我国劳动力成本优势，取得了快速发展，在全球市场的比重正不断

上升，我国已经成为全球重要的造船中心之一。我国造船量虽然已位居世界前列，但造船技术与国外先进水平相比相差很大。尤其是船舶配套能力不足，关键配套件依赖进口，船用关键设备几乎 80% 需要进口，而日本、韩国等造船强国的设备自给率则在 90% 以上，这已经成为我国造船业发展的瓶颈。因此，提高船用配套设备及关键零部件制造能力，减少进口，提高生产率，降低制造成本，是我国船舶工业的当务之急。根据《船舶工业调整和振兴规划》，面对严峻的生产和经营环境，我国船舶工业将进一步加大产业结构调整和产品优化升级的步伐及力度，重点发展高技术附加值船舶和海洋工程装备、船用配套设备及船用低速柴油机等产品。其中，船用配套设备和船用低速柴油机将成为投资的重点，也是未来几年机床市场在船舶行业中的关注重点。

船用配套设备是指动力装置、甲板机械、船舶锅炉及船舶电气设备等。动力装置包括智能型柴油机、节能环保型中低速柴油机、LNG 船用双燃料发动机、船舶轴系（减速箱、轴承、中间传动轴）超大型螺旋桨及大型高效喷水推进装置等。甲板机械包括舵设备、锚设备、系缆设备及船舶起重机械等。船舶电气设备包括大功率中高压发电机及供电设备。此外，船用配套设备还有船舶锅炉、制冷和空调装置以及船用泵、阀等。

当前，我国造船业快速增长，但船舶配套业发展严重滞后。船用柴油机、中低速柴油机曲轴等关键零部件出现了全球性供应紧张，成为当前我国造船发展的重大障碍。目前主要中低速柴油机生产厂正在加大技改速度，推进柴油机曲轴等关键件的国产化研制，这给机床行业带来了新的机遇与挑战。

6.4.1 船舶行业对机床的需求

船用配套设备主要关键件，如大功率中低速柴油机、曲轴、大型船用螺旋桨等项目的规划布点建设已经展开，投资基本到位，对重型、超重型金属加工机床的订货基本完成，未来几年内对重型、超重型金属加工需求的增速将有所减缓，而大中型、通用型数控机床的需求将保持一定的增长趋势。海洋工程设备制造所需的特种及专用加工机床会有需求，是重型机床的增长点。

作为船舶的核心配套部件，船用柴油机关键零部件主要包括机座、机架、气缸体、连杆、缸盖、缸套、活塞、凸轮轴及凸轮组件、轴瓦、进排气阀、空冷器、油泵、油嘴等。据调查，目前国产低速柴油机最大功率为 49 680hp[㊀]，机长

㊀ 1hp=745.7W。

15.6m，高 12.4m，缸径 ϕ900mm，曲轴重 21t，自重达 1 253t。规划发展最大功率将达 100 000hp，加工精度以 PA6BV-280（7140kW）船用柴油机为例，除了活塞最高加工精度为 IT4 级、气缸体最高加工精度为 IT5、IT6 级以外，凸轮轴、缸盖、缸套等部件要求最高加工精度均为 IT6 级。

中低速柴油机机座和机架的主要加工设备有数控龙门镗铣床和数控立式车床；气缸体（机身）的主要加工设备有数控龙门镗铣床和龙门加工中心，规格以龙门宽度 2~5m 居多，最大不超过 8m，定位精度和重复定位精度分别不超过 0.016mm/1 000mm 和 0.01mm；缸盖的主要加工设备有卧式加工中心、立式加工中心和立式车铣中心，其中卧式加工中心规格以 500、630、800 规格需求居多，对于 630 卧式加工中心，X、Y、Z 轴定位精度均不超过 0.008mm，重复定位精度不超过 0.004mm；连杆、曲轴的主要加工设备有数控龙门镗铣床、大型数控立式车床、重型数控卧式车床、立式和卧式加工中心等；凸轮轴的主要加工设备有凸轮轴铣床、凸轮轴磨床等。

船舶的另一个核心功能部件——重型曲轴的主要加工设备有卧式曲轴车床、立式车床、落地镗床、龙门铣床、曲轴铣床、卧式车铣加工中心、曲轴磨床等。低速机曲轴采用组装结构，曲轴与曲柄单件加工，经热装后再进行整体加工，需要重型车铣复合加工中心、数控曲柄立式车床、数控立车、数控落地镗铣床以及热装后精加工用的重型曲轴旋风切削加工中心等设备。

大型船用螺旋桨的主要加工设备有五轴联动数控龙门铣床、五轴联动数控立式车铣床和七轴五联动车铣复合加工中心等。该类设备是衡量一个国家机床制造水平的标志性产品之一，目前世界上最大加工直径的螺旋桨加工设备由韩国研制，直径为 11m，其次为德国和日本生产的加工直径为 10.4m 的数控机床，而我国生产的螺旋桨加工设备最大加工直径仅为 9m。随着我国大型船舶的发展，出现了加工直径为 11m 螺旋桨的七轴五联动数控车铣床需求。现代大型船舶要求更高的推进效率、更低的噪声，因此对螺旋桨推进器等关键零件的加工精度和表面粗糙度也提出了更高的要求。此外，由于螺旋桨叶面加工的复杂和特殊性，对机床的功能和加工性能也有新的要求，如克服大型螺旋桨加工中滑枕承受力矩过大对机床寿命的影响，七轴五联动数控车铣床防干涉碰撞功能的实现，基于三维数字化模型的加工余量快速测算。此外，测点规划、测量轨迹自动生成及在线质量评估功能等仍是船舶制造专用机床亟待攻克的难题。

柴油机的曲轴、机体、缸盖、连杆、凸轮轴五大件的机械加工、热处理和计

量检测能力是技改设备投入的重点。这在一定程度上激活了我国机床市场。加工船用螺旋桨的五坐标联动数控龙门铣床，一直代表着机床行业的发展水平，也是船舶工业发展需要的关键设备。目前世界上最大的数控龙门铣床直径为 11m，我国的数控龙门铣床技术含量低，精确度与国际水平相比还有待提高。

大型船舶的关键加工件集中在大功率柴油机的机座、机架、气缸体、缸盖、活塞杆、十字头、连杆、曲轴，以及减速箱传动轴、舵轴和推进器（螺旋桨）等。这些关键件具有重量大、形状复杂、精度高、加工难度大等特点，材质为特种合金钢，一般为小批加工，要求加工成品率 100%。大型船舶关键件加工需要具有大功率、大转矩、高可靠性以及多轴的重型、超重型数控机床和专用加工机床，如重型、超重型数控龙门镗铣床，大型旋风车床，数控重型龙门铣和重型数控落地镗床，数控车床，数控磨床，深孔钻床，以及大型钢板压制、酸洗、热处理和火焰切割机等。其中重型、超重型曲轴和大型螺旋桨加工具有典型性，需要超重型数控专门机床、超重型多轴联动机床加工。

因此，必须快速提高国产机床的制造水平，提高船舶工业技术改造建设使用机床的国产化率，努力使国产机床制造的船用设备零件早日达到世界先进水平，与造船业“共舞”于世界舞台。

6.4.2 国内造船行业和海工装备的发展

2010 年我国造船完工量世界第一，船舶工业销售收入超过 6 000 亿元，船舶出口额突破 400 亿美元，“十二五”期间，我国船舶工业将进入由大变强的阶段。根据《船舶工业“十二五”发展规划》目标，到 2015 年我国船舶工业销售收入达到 12 000 亿元，出口总额超过 800 亿美元，“十二五”期间行业年均复合增速 14.87%，出口年均增长 82.06%。

改革开放以来，中国船舶工业一直努力开拓国际市场，成功地将自身打造成为外向型产业。但这样也导致了船舶工业对外依存度较高，近年来深受国际经济低迷的影响。反观国内市场，我国经济社会发展基本面长期趋好，国内市场潜力巨大：近年来，包括海监船、渔政船、边防船、执法船在内的公务船市场平稳快速增长；为建设渔业强国，农业部等有关部门鼓励造船企业加大力度开发高附加值、高效、节能、环保的远洋渔船；随着国民经济快速发展，我国游轮经济的大幕徐徐拉开，豪华游船市场机遇初显。此外，能源运输需求带动了巨型油轮（VLCC）、液化天然气船（LNG）等运输船的市场需求；随着我国对船舶安全、环保要求的不断提高，交通运输部等有关部门及一些地方政府制定了利好政策，

鼓励快速发展以 LNG 为燃料的内河船舶及渔船。这些市场亮点，将为中国造船企业提供不少发展新机遇。

与造船市场不同，海工市场受世界经济的负面影响相对更小，且在全球能源需求的拉动下前景光明。在这方面，老对手韩国造船界给中国企业上了难忘的一课：尽管造船世界第一的宝座曾在 2010 年被我国夺走，但韩国造船界随即凭借大量的海工装备订单实现逆转，重夺第一。近两年，海工装备已成韩国几大造船企业的主打产品。可以想象，韩国造船企业能够在海工市场大展拳脚绝非一日之功，此前必然经过了周密的市场分析，开展了大量的技术研发，才能做到厚积薄发。因此，在海工领域，我国船舶行业还需奋起直追。为实现我国发展海洋经济、建设海洋强国的目标，我国主流船舶企业更应尽快挺进深蓝，加快产品结构调整步伐，在破冰船、钻井船、海底铺管船等高技术、高附加值产品上有所建树，为未来开拓国际市场奠定基础。

6.4.3 船舶工业对机床的具体要求

造船工业急需制造柴油机体的重型、超重型龙门铣镗床，重型数控落地镗铣床，大型数控车床和车铣中心，大型数控磨齿机，曲轴镗铣床，大型曲轴车铣中心及曲轴磨床等。

船舶轴系是船舶动力装置中的重要组成部分，它将主机发出的功率传递给螺旋桨，再将螺旋桨产生的轴向推力传递给船体以推动船体航行。船舶轴系是从主机输出端法兰起至尾轴为止，连接主机和螺旋桨。对于直接传动的推进系统，船舶轴系包括传递功率的传动轴及其轴承等零部件，主要有推力轴和推力轴承、中间轴和中间轴承、尾轴和尾轴承以及其他附件等；对于间接传动的推进系统，除有上述传动轴和轴承外，船舶轴系还包括离合器、弹性联轴器和减速齿轮箱等部件。船舶轴系的结构较为简单，但作用十分重大，维护管理好轴系，对保证船舶的安全航行至关重要。船舶轴系零件的加工主要有通用的大型数控车床、数控镗铣床、数控磨床、数控钻床、数控齿轮加工机床等。

船用螺旋桨是船舶必备的推进器部件，属于典型的自由曲面类零件，其桨叶叶型复杂，制造精度及表面质量直接关系到舰船推进效率、振动、操纵性能及桨叶本身强度。近年来，船用螺旋桨加工一般使用五轴机床，但由于所用刀具和加工方法的限制，加工精度和效率仍不理想。

螺旋桨主要由桨叶和桨毂组成，螺旋桨和船的尾轴的连接部分称为桨毂，桨毂一般为截头的锥形体。从螺旋桨后向船首方向看到的桨叶的一面称为叶面或压

力面，其背面称为叶背或吸力面。正车转动时，在转向上靠前的叶边称为导边，靠后的称为随边。桨叶与桨毂相连的地方称为叶根，远离桨毂的一端称为叶梢。螺旋桨的桨叶叶面呈螺旋面形状，其尺寸主要由一系列柱形切面的型值确定，属于空间复杂曲面，结构比较复杂，加工精度要求高，所以它的数控加工一直是一个难点。

在船舶工业领域，大型船用螺旋桨、舵叶、舵杆、起重机、锚铰机、分离机等船用配套产品的加工制造，都需要各类镗铣床等机床设备。

大马力柴油机、螺旋桨、曲轴、连杆、凸轮轴及船舶发电机等需要重型数控龙门镗铣床、数控落地铣镗床、数控重型立式车床、数控重型卧式车床及五轴以上联动重型复合加工机床和专用数控重型机床。

适应船用大马力柴油机机体加工需要的重型和超重型龙门镗铣床包括：规格为 7 000mm×27 000mm 桥式龙门铣；（4 000 ～ 4 500）mm×（10 000 ～ 14 000）mm 数控龙门镗铣床；直径为 ϕ160 ～ ϕ250mm，X 轴行程为 6 000~15 000mm 重型数控落地铣镗床；直径为 2 500 ～ 10 000mm 重型数控立式车床；工作台尺寸为 1 000mm×（1 250 ～ 1 400）mm×1 600mm 重型数控卧式铣镗床（加工中心）；重型六轴五联动数控铣镗床。

螺旋推进器需要重型五轴车铣中心、加工直径为 10 000mm 的立式车铣中心。

船用机械和船舶发动机需要机床有：五轴车铣中心、镗杆直径为 ϕ200mm 的数控落地铣镗床；加工直径为 6 300mm 的数控立式车床；加工直径为 3 150mm 以上的数控重型卧式车床。

6.4.4 我国机床工业满足情况

近年来我国机床行业的生产能力和技术水平得到大幅提高，但仍有一些高端数控机床需要从国外进口。例如：用于加工低速柴油机机座、机架、气缸体的数控龙门铣床、数控镗铣床、数控导轨钻床等；加工低速柴油机气缸套的缸套内外圆车床、立式珩磨机；加工低速柴油机油头油泵的卧式车削中心、五面体加工中心等。由于有些数控机床只有少数几个国家生产，产品价格高昂，供货期难以保证，甚至由于部分产品属于他国战略性物资，经常对我国采取限制和禁运，严重影响了我国船用设备企业生产能力的快速提升。因此，机床行业和船舶工业应该加强紧密合作，采取有效措施，互促互进，实现共赢。

目前，我国机床行业已能满足船舶工业所需的绝大部分机床设备，且设备

的高科技含量不断提高。其中，本土机床企业能提供的有数控车床、车铣加工中心、卧式加工中心、立式万能磨床、数控铣镗床、滚齿机等设备。

济南二机床集团有限公司研制成功的具有完全自主知识产权的国内首台机械式五轴联动数控机床，可以提高工件加工面的精度，降低其表面粗糙度值，减少甚至取消后续的手工修磨等工作，适用于螺旋桨加工。

哈尔滨量具刃具集团有限责任公司成功制造的中国首台具国际领先水平的并联机床，组成的生产线可以使机床台数大幅度减少，提高加工质量和可靠性，适用于船舶等大型复杂零件的自由曲面加工。

齐重数控装备股份有限公司独立开发的数控重型曲轴旋风切削加工中心填补了国内空白，床身最大回转直径达 4 100mm，工件最大长度达 14 500mm，工件最大质量 180t，机床总重 400t，是用于低速柴油机曲轴热装后整体精加工的设备。目前国产最大低速柴油机功率为 49 680 马力（1 马力 =735.5W），机长 15.6m、高 12.4m、缸径 900mm、自重达 1 253t，曲轴重 211t。机体的加工设备主要是数控龙门镗铣床、龙门加工中心，规格以 2m 宽到 5m 宽用得较多。该类机床要求刚性好，精度高，附件头制造难度大。例如 2.5m×8m 龙门加工中心，要求定位精度≤ 0.016mm/1 000mm、重复定位精度≤ 0.01mm。缸盖主要是卧式加工中心、立式加工中心加工。卧式加工中心以 500、630、800 规格需求较多，精度要求高，如 630 卧式加工中心要求定位精度 X、Y、Z 轴≤ 0.008mm、重复定位精度≤ 0.004mm。也有采用立式车铣中心加工缸盖，采用立式加工中心加工连杆，此外还需要凸轮轴铣、凸轮轴磨等设备。由齐重数控装备股份有限公司生产的数控重型曲轴旋风切削加工中心加工的首根大型船用曲轴已在青岛海西重工有限公司下线，改变了中国制造加工曲轴的大型机床长期依赖进口的局面。

可以预测，在当前乃至今后一个时期，在国家《船舶工业调整和振兴规划》的鼓舞下，我国主要船用设备生产企业尤其是中低速柴油机生产企业必将加大技术改造力度，推进柴油机、柴油机曲轴等关键零部件的国产化研制。这将使机床设备更新换代、带动机床行业进一步发展壮大，也将促进船舶工业对机床设备尤其是高端数控机床的需求质量将趋于高端化，需求结构将趋于合理化。

1. 螺旋桨加工用高端数控机床

螺旋桨是大型高端舰船推进器的关键部件，其性能至关重要。生产加工平稳、无噪声的螺旋桨需要高端数控机床。因此，如何打破国外对高端数控机床的垄断，成为我国提升高端舰船制造能力的关键环节。

我国研发的 CKX5680 型数控七轴五联动螺旋桨加工用重型车铣复合机床（图 6–27）获得了 2012 年度国家科学技术进步奖二等奖。这不仅显示出我国在机床领域的实力，同时也打破了国外的垄断，为我国高端舰船制造业发展提供了有力的支撑。

图 6–27　CKX5680 型数控七轴五联动螺旋桨加工用重型车铣复合机床

武重集团以振兴中华民族装备制造业为己任，让国家使命成为了企业技术创新的目标。2013 年 1 月 18 日，在 2013 年国家科学大会上，由中国兵器工业集团武重集团主持实施的 CKX5680 型数控七轴五联动螺旋桨加工用重型车铣复合机床荣获 2012 年度国家科学技术进步奖二等奖，充分展示出武重集团在自主创新方面的强大科研实力和国内一流的产品研制水平。此项目历时 10 年，研发出我国首台大型高性能螺旋桨加工用数控重型机床，实现了螺旋桨一次装夹全工序加工完成，效率提高 3 倍以上，完全达到了设计目标。CKX5680 型数控七轴五联动螺旋桨加工用重型车铣复合加工机床替代进口设备，打破西方技术封锁。该机床最大加工直径达 8.5m，最大承重 160t，定位精度达 0.025mm，技术参数性能达到或超过国外同类设备（当时仅有德国 COBURG 和日本东芝能够生产该类设备）。螺旋桨作为大型高端舰船推进器的关键部件，制造精度直接影响舰船的平稳性、噪声等机械性能，而它的加工需要高端数控机床，此前只有德日两个国家能制造且价格昂贵。武重集团自主研发螺旋桨加工高端数控机床，打破国外的封锁与限制，对提升我国高端舰船制造业的能力至关重要。

该机床装备正式投入运行之后，已加工出多种规格的螺旋桨产品，所有加工

出的螺旋桨产品经用户检测均达特高级（S 级）精度，其中部分螺旋桨产品已出口，用于意大利等国家的高档豪华邮轮上。此机床项目研发成果的创新技术和功能部件，已成功应用到多台其他类别数控重型机床装备上，对提高我国高端舰船和发电装备制造能力及国防安全做出了重要贡献。该项目获授权发明专利 1 项，实用新型专利 4 项，公开发明专利 2 项；研发团队发表论文 15 篇，新增产值 6.81 亿元。该项目填补了国内空白，具有自主知识产权，总体技术达到当前同类机床国际先进水平，2011 年获得了中国机械工业科学技术奖一等奖。

CKX5680 机床的研制成功并投入使用，打破了国外技术封锁和限制，使我国成为第三个能制造此类装备的国家，完成了螺旋桨加工由过去手工打磨到现在精密机床加工的质的飞跃，大大提高了产品的精度和生产效率，标志着我国能够生产大型船用的静音螺旋桨设备。

2. 高精度数控重型曲轴复合加工机床

已经研制成功的具有我国自主知识产权、全功能、高精度数控重型曲轴复合加工机床（一拖二），由两套车刀架与一套旋风刀架复合组成。机床长 57.6m，宽 10.5m，高 7m，重达 580t，加工精度误差不超过 0.02mm（只有人头发丝的 1/4），一次装夹即可完成大型船用低速柴油机组合曲轴的主轴颈、法兰和曲拐颈的半精加工和精加工，是国家科技重大专项“高档数控机床与基础制造装备”课题项目，由齐重数控装备股份有限公司承担并研制成功。

该专项课题重点攻克了“分体开合式数控旋风切削刀架”这一关键技术，解决了 U 轴精密回转运动，径向、纵向支撑，超大、超薄型精密分体旋风刀盘的加工制造及新工艺和新材料等技术难题，使我国掌握了具有自主知识产权的重型船用曲轴加工机床制造技术，摆脱了之前大型船用曲轴严重依赖进口的局面，满足了国家重点发展的大型船舶柴油机核心部件曲轴的精加工设备需求，带动了造船业、港口运输、钢铁等相关行业的持续发展，使我国成为世界上继德国、日本之后第三个能够自主设计、自主制造曲轴加工设备的国家。

6.5 开发适用于电力行业需求的数控机床

随着发电设备的不断发展以及发电行业装机容量的不断增大，重型机床和超重型机床产品需求进一步增大。电力设备制造业对数控机床的需求具体体现在如下产品的制造：火电和核电的汽轮机缸体、汽轮机转子及叶片、发电机定子和转子；核电热交换器及孔板；水轮发电机基座定子和转子。这些产品的生产制造都

需要重型机床，将带动重型数控龙门镗铣床、大重型数控落地铣镗床、大重型数控立式车床、重型数控卧式车床、叶根槽专用铣床，以及叶片数控加工设备等重型机床和超重型机床产品需求。另外，高压输变电、电工仪表和控制柜的大量制造，需要数控车床、加工中心、数控镗床等。

中国电力工业实施多元化能源战略，将高效、高速、清洁能源（如核电、风能等）列为重点发展对象，以改变过度依赖煤炭等单一能源的局面。核电和风电等新兴产业，需要新材料、新工艺、新技术、新装备，机床工具行业应当重视核电和风电的发展需要，将其作为重点服务对象。核电和风电装备制造需要的机床特点是：大规格、大吨位、高刚度、高可靠性。

核电是各国竞相发展的清洁能源。按照《核电中长期发展规划》确定的我国核电发展目标：到2010年，在运行核电装机容量1 200万kW；到2020年，新建31座核电站，在运行装机容量4 000万kW。为了减少二氧化碳排放量并考虑现实可能，即将出台的核电中长期规划将把这一指标调整到7 000万kW以上。预计“十二五”期间将成为中国核电建设的高峰期，每年核电建设投资规模将超过700亿元，核电装备制造商将对高端数控机床有较大需求。

《可再生能源法》将风电作为鼓励发展的重点能源，国内很多省份都在加大对风电的投资。到2015年，风电装机容量将达到1 500万kW；到2020年，装机容量规划将达到4 000万~6 000万kW。很多省、自治区都做了大规模发展风力发电的规划，这同时也对数控机床发出了需求信号。

发电设备关键件重量大，形状特殊，精度高，加工难度大，价格昂贵，单件价格远超过一台重型数控机床的价格。例如核电站压力容器单件重达400～500t，大型汽轮机和发电机的转子单件重超过百吨，要求可靠工作30年以上。因此，发电设备关键件制造需要各种超重型数控机床及专机，如大型数控立式车床、大型数控卧式车床、数控落地铣镗床、龙门镗铣床及加工中心、数控钻床，以及大型压制设备和数控弯管机等。对于某些特定加工件，要求机床具备多轴控制五轴联动及复合加工功能。

6.5.1 电力工业对数控机床的需求

电力工业装备主要包括两大部分，即发电设备和电网设备。其中，发电设备分为煤电发电设备、水电发电设备、核电发电设备、风电发电设备和气电发电设备等；电网设备主要为超高压输变电设备，包括变压器、断路器、电抗器、互感器、电容器、隔离开关等。

1. 煤电、核电和水电等发电设备

当前，我国仍然以火力发电为主，水力发电在快速增加，并将逐渐增加核能发电，这些发电机组的生产都需要大型、重型加工设备。加工一个重达 200 多吨的 60 万 kW 汽轮机转子，需要回转直径 ϕ3.5 ～ ϕ4.0m、长 15 ～ 20m 的重型卧式车床；加工透平叶片需要五轴联动加工中心；加工中压缸、高压缸需要 20m 数控立式车床，镗杆直径 ϕ200 ～ ϕ260mm 的数控落地铣镗床，龙门宽 7.5 ～ 8m、长 22m 的数控龙门镗铣床等。

2. 风力发电设备

近几年风力发电发展很快，内蒙古、新疆及山东、江苏、广东等省、自治区都做了大规模发展风力发电的规划。内蒙古自治区已上报国家和自治区的风电项目规模达 139 万 kW，获得国家和自治区核准、批复的有 10 项，规模约达 64 万 kW，其中有 6 个风力发电项目已经开工建设，投资约 40 亿元。风力发电机组要求可靠、寿命周期长，零部件的精度、功能要求高，如变速箱中的箱体孔、轴、齿轮等的精度要求达到 5 级，内齿轮的精度要求达到 6 级，寿命不小于 20 年，保用期 5 年。目前，风力发电设备主要采用圆柱齿和圆锥齿两种齿轮，需要加工的零部件主要为变速箱体、箱盖和大型齿轮、齿圈，因此所需要的主要设备为各种大型卧式加工中心、龙门加工中心和龙门镗铣床、落地铣镗床、大型立式滚齿机、插齿机等。此外，制作长达几十米的叶片（目前半径超过 60m）、高达几十米（目前已超过 80m）和直径几米（其内部具有人可以上下的装备）的大型塔柱等，需要各种大型成形加工设备。

3. 电网输变电设备

输变电设备在电力行业中的作用越来越重要，为了减少在输送电过程中的损耗，电压越来越高，设备规格越来越大。所需要的加工设备主要有加工变压器矽钢片的冲压设备，钢结构加工的数控成套设备（如铁塔型钢成套加工设备），包括切断、数控角钢冲孔、钻孔、开槽复合机等，为成形机床行业提供了广阔的市场空间。

我国电力工业已经步入建设大煤电、大水电、大核电、特高压、高可靠性、高度自动化的新阶段，对机床行业的需求也开始转向复合化、高精度、智能化。

电力装备行业需要的功能复合化机床，就是在同一台加工设备上尽可能具备多工序的加工，工件能一次装夹定位后完成多道工序，这样加工精度高、节省

多次装夹辅助时间。同时要求机床行业提供智能化机床，机床的控制系统具备自动诊断、自动控制、自动保护、逻辑分析等功能，使数控机床成为智能型工作母机。中高档全数字交流伺服驱动系统要数控化。

近年来，我国电力装备工业取得了举世瞩目的成就。为大型火电厂提供的300MW、600MW 亚临界及 600MW 超临界机组已经实现产业化，可以成套供货，自主国产化率达到 90% 以上，主要性能达到或接近国际水平。为大型水电站提供的 500MW、700MW 水力发电机组，已经实现产业化，可以成套供货，自主国产化率达到 90% 以上，主要性能指标达到国际水平。为核电站提供的 660MW、1 000MW 压水堆型核电机组国产化率分别达到 80% 和 70%。

电力装备工业的发展对数控机床提出了更多的需求。包括数控立式车床、数控镗床、数控龙门铣床、数控镗铣床。例如，哈尔滨汽轮机厂有限责任公司（以下简称“哈汽公司”）订购了 10m×30m 的数控龙门铣床，专门加工 1 000MW 汽轮机低压缸；东方电气集团东方电机有限公司也订购了 5.5m×20m 的龙门铣床，专门加工大容量发电机组部件。

6.5.2 汽轮机转子及叶片加工设备

转子是汽轮机的“心脏”。转子工作时以 3 000r/min 高速运转，对转子的加工和动平衡质量要求很高。汽轮机转子有着非常复杂的型线，需要在数控车床上频繁更换各种刀具。为确保加工精度，提高生产率，必须使用模块式快换工具系统的整体解决方案加工汽轮机转子。模块式快换工具系统要求：高刚性、高承载能力、高精度、通用性、系列化、快速换刀、自动换刀（如有刀库）、内冷却供应、使用方便、耐用可靠、经济性。

图 6-28 所示是在哈汽公司车间内的重型数控转子车床上，百万千瓦超超临界汽轮机转子正在加工制造中。该汽轮机组是为广东省潮州三百门电厂生产的，是我国首台完全依靠自主技术加工制造的机组，具有高效、节能、环保的特点。

汽轮机是将蒸汽能量转换为机械能的旋转式动力机械，又称蒸汽透平机械，主要作为发电设备的原动机，也可直接驱动各种泵、风机、压缩机和船舶螺旋桨等，还可以利用汽轮机排汽或中间抽汽满足生产和生活的供热需要。汽轮机利用蒸汽热能在蒸汽轮机内绝热膨胀后通过汽轮机动叶片推动转子，将机械能转化为电能。

图 6-28　百万千瓦超超临界汽轮机转子正在加工制造

叶片是汽轮机的核心关键零件，叶片加工质量的好坏直接影响到汽轮机的工作效率及可靠性。随着汽轮机设计要求的提高，叶片加工要求也越来越高，特别是叶片型面加工一直是汽轮机生产的瓶颈，传统的叶片加工方式其加工工艺原始，加工手段落后，工人劳动负荷大，作业环境恶劣，生产效率低，加工质量难以保证。生产实践证明，用并联机床加工汽轮机叶片，加工质量高。图 6-29 所示为用并联机床加工汽轮机叶片。

图 6-29　并联机床加工汽轮机叶片

并联机床是新一代高性能机床，它是在 Stewart 平台的基础上设计而成的。Stewart 是一种新型的、6 自由度的空间并联结构，它由上下两个平台和 6 个可独立自由伸缩的杆件组成，伸缩杆和两个平台通过虎克铰和球铰链进行连接。伸缩杆的一端通过虎克铰与定平台相连，另一端通过球铰链与动平台相连。并联机床主要由以下几个部分组成：① 固定平台（机床框架或静平台），它用于安装各个零部件，是机床的主体，对整个机床起到支撑作用。② 6 根伸缩杆，为动平台的各种运动提供动力，通过改变伸缩杆的长度可控制动平台的位姿，以满足加工需要。③ 动平台，用于安装主轴部件，同时也是 6 根伸缩杆的控制对象。④ 主轴部件，其主要部分为电主轴，提供切削时的刀具动力。⑤ 刀头点，它是数控系统的控制点，利用刀头点作为控制点，可以形成全闭环控制，对弹性变形及振动引起的误差进行补偿，提高加工精度，减少并联运动机床的动态误差。⑥ 回转台，用于装夹工件，完成零件的回转加工。⑦ 连接件，连接各类零部件，如虎克铰、球铰链等，使并联运动机床能够按照要求灵活运动。⑧ 操作面板，提供良好的人机交互界面，能有效地操作机床。此外，还有刀库、排屑机、冷却系统、液压系统等辅助部件。

并联机床的工作原理是：机床主轴与刀具的运动是由 6 根伸缩杆的运动复合而成的，而不像传统机床那样是由各运动部件的运动叠加而成的。如果将上平台作为固定平台，以伸缩杆的位移作为输入变量，则可以控制动平台的空间位移和姿态，即通过改变 6 根伸缩杆的杆长，动平台可以实现不同的位置和姿态。动平台上装有电主轴，刀具装夹在动平台电主轴上随动平台一起运动，以实现对曲面的加工。6 根伸缩杆由滚珠丝杠副和滚珠花键副构成，由 6 个伺服电动机驱动控制各杆的杆长。在机床工作台上串联了一个数控回转台，加工叶片时使叶片随数控转台绕 X 轴回转（A 轴），并和并联机床的其他 6 轴实现联动，形成七轴联动的并串联加工系统，从而实现空间任意复杂形状的曲面加工。在加工叶形曲面时，通过数控转台的回转，使叶片毛坯和刀具相对运动，可以生成连续的加工路径，并且只需一次装夹，就可以加工出包括内弧、背弧和进出气边圆角在内的完整的叶片叶形曲面，而且在不发生干涉的前提下可以任意调整刀具的加工姿态，使叶形曲面的加工质量得到保证。这种并联机床特别适合加工复杂曲面的零件，如叶片、叶轮、螺旋桨及复杂模具的型腔等。

基于并联机床的汽轮机叶片的数控加工生产实践证明，叶片加工质量好、加工效率高，较好地解决了叶片批量生产的质量和效率问题，取得了很好的效果。

不仅为叶片等具有复杂曲面的零件加工提供了一种新的加工设备和工艺方案，还为促进并联机床的产业化和实用化起到很好的推动作用。

6.6 开发适用于电子信息产业的数控机床

电子信息产业具有集聚创新资源与要素的特征，是当前全球创新最活跃、带动性最强、渗透性最广的领域。新一代信息技术正在步入加速成长期，带动产业格局的深刻变革。金融危机以来，不仅美国、日本、欧盟等主要发达国家和地区纷纷将发展电子信息产业提升到国家战略高度，抢占未来技术和产业竞争制高点，巴西、俄罗斯、印度等国也着力发展电子信息产业，在全球范围内竞争更加激烈。

电子信息产业的飞速发展将带动超高速计算机、移动通信和数字化视听等产品的结构、特征尺寸、性能的彻底改变。传统意义上的分立元器件将被超微化、片式化、模块化、数字化、多功能化、智能化、绿色化、高频化、高速化、高可靠性和低功耗的复合元器件所取代。网络时代的到来和人们生活水平的不断提高，对电子设备也提出了更新、更高的要求。

随着电子技术的进一步发展和人们对于数字化生活需求的增加，电子元器件等上游产品的制造需求也呈现增长态势。 电子信息产业是专业化分工很细的产业，大多数电子元器件整机本身金属加工的工作量并不大，但由于发展速度快和规模总量很大，电子信息产业也成为数控机床行业重要的用户之一。

6.6.1 电子信息产业对数控机床的需求

我国电子信息产业市场化程度很高，在全球具有较大的竞争优势。但是，生产电子元器件的专用生产设备配套基本齐全，技术档次却相对较低，满足不了电子信息产品对生产规模大、自动化程度高、精密度高、可靠性高的数控设备的迫切需求，不得不依靠进口解决，尤其是需要大量进口数控钻床、激光钻床、自动印刷机、大吨位精密液压冲床、真空压机和光电检测设备等。电子专用设备仪器材料、电子元器件产品领域，对数控机床需求相对较多，且主要是能够加工小型精密零件和精密模具的数控机床。

电子信息产品的最大特点就是升级换代快，如集成电路的性能每 18 个月翻一番，同时价格下降一半。电子信息企业必须与上下游企业建立步调一致的关系，才能更好地参与市场竞争。在选择数控机床时，需要快速交货；一旦对产品服务提出要求，必须快速作出反应。这对很多国内机床企业提出了挑战，也带动了国内数控机床产业的进步。

6.6.2 电子信息产业规模

电子信息产业可以分为电子信息产品制造业和软件与集成服务业。电子信息产品制造业又可细分为：雷达工业行业、通信设备行业、广播电视行业、电子计算机行业、电子测量仪器行业、电子专用设备行业、日用电子器具及其他行业、电子元器件工业行业、电子材料行业、集成电路行业、发光二极管（LED）行业、太阳能光伏行业等；软件与集成服务业主要包括：软件开发与处理业、系统集成服务业及计算机信息处理业等。

“十二五”期间，我国电子信息制造业的发展目标是：加强发展集成电路生产线工艺技术升级及产能扩充；关键电子元器件的技术升级及设备工艺研发；TFT-LCD 显示面板关键技术和新工艺开发，三维显示、电子纸、激光显示等新技术研发和产业化；鼓励新型太阳能电池和高质低成本多晶硅工艺技术研发等。

根据电子元件行业协会发布的《中国电子元件“十二五”规划》，未来五年我国电子元件行业销售收入总额达到 1.88 万亿元，年均增长 10%，占我国电子信息产业收入的 20%。电子元件总产量超过 2.8 万亿只，年均增长 5.7%，满足国内 70% 的市场需求，电子元件出口总额达到 860 亿美元。截至 2010 年底，电子元件行业销售收入总额为 1.1 万亿元，为达到未来五年新增销售收入约 7 000 亿元的目标，“十二五”期间大约要投资 5 000 亿元，主要集中在新型电子元件的研发和产业化领域。新型电子元件主要是为物联网、新能源、新能源汽车、新一代通信技术配套的电子组件、高密度互连板及各种印制板等。

6.6.3 电子元器件的制造解决方案

信息技术与机床制造技术的融合，使世界上第一台数控车床于 20 世纪 50 年代在美国诞生，标志着机床制造业进入了数控时代。而数控机床的发展，又为电子信息产业提供了更好的制造解决方案。

近年来，我国机床技术水平的明显进步，使我国在一些制造业领域实现突破，但我国仍未掌握一些重要的高端数控设备生产技术，使我国在集成电路生产等一些最重要的制造业领域受到约束。因此，要实现制造业的全面腾飞，高端数控设备仍是必须攻克的难点。

1. CUT 1000 OilTech 超精密数控慢走丝线切割机床

CUT 1000 OilTech 是全球最高精度的线切割机床，它具有高性能的放电电源和 AC Duo 双丝系统，可以优化特殊应用领域的加工，提高加工效率和

自动化。AC Duo 功能可以使用两种不同的切割丝进行加工，所有切割丝的操作均为全自动，由专利设计的检测器监控。CUT 1000 OilTech 加工的零件可以达到优异的表面质量，没有表面氧化和杂质，几乎完美无缺。适用于对精度有着超高要求的精微应用中，如微电子行业、制表工业、电子元器件精冲模、精密注塑模等粗、精加工等。CUT 1000 OilTech 的主要参数如下：行程（$X\times Y\times Z$）220mm×160mm×100mm；行程（$U\times V$）±40mm；最大工件尺寸 300mm×200mm×80mm；锥度 / 高度 ±3° /80mm；最大工件质量 35kg；可用丝径（细丝模块）0.1 ～ 0.2mm（0.02 ～ 0.20mm）；最佳表面粗糙度：R_a0.05μm。

2. FO 350 MS 精密数控电火花成形机床

FO 350 MS 精密数控电火花成形机床是集最新开发的高速加工模块和微细加工技术于一体的新产品，它通过提高抬刀速度和放电控制实现更高的加工效率，使得加工中等深度的窄槽时效率提高了 30%。在精加工设定上，通过降低电极损耗保持电极的形状达到细微处的高精度，可以得到极细的、均匀的表面粗糙度。同时，其高刚性的机械结构、遍布机床各个部位的温度控制循环系统，以及集编程专家系统、放电控制专家系统、能量控制专家系统、微细加工专家系统、防短路及其保护电源于一体的设计，使得该机床的加工精度达到质的飞跃，保证了微细结构的精密再现。FO 350 MS 机床可应用于汽车、航天、电气元件、医疗和钟表加工行业，主要参数如下：行程（$X\times Y\times Z$）350mm×250mm×300mm；最大工件尺寸 780mm×530mm×300mm；最大电极质量 / 选配 C 轴时 50kg/25kg；最大工件质量 500kg；最大加工电流 / 选配 64A/128A；最佳表面粗糙度 R_a 0.1μm；测量系统分辨力 0.05μm。

3. 家电行业解决方案

家电行业不仅需要各种加工机床和冲压模具，大量的塑胶制件也需要相应的注塑模具与之配套。例如，生产一台电冰箱约需模具 350 副，生产一台全自动洗衣机约需模具 200 副；生产一台空调器仅塑胶模具就需约 20 副；生产单台彩电大约共需模具 140 副，仅彩电模具每年就有约 28 亿元的市场规模。随着家电市场竞争的白热化，外壳设计成为重要的一环，对家电外壳的色彩、手感、精度、壁厚等都提出新要求，对新型模具的需求也很大。模具工业的快速发展同样推动各种加工中心及先进加工机床的发展。

数控冲剪复合机可一次完成板料的冲孔、成形和剪切，尤其适合后续有弯折工序的板件加工；多工序共用一套数控系统、液压系统和送料机械手，与数控冲床和角剪切机床单机连线比较，不仅可以降低设备投资，节省占地面积，减少故障率，而且可以作为主机组成冲剪复合柔性加工线。

家用电器广泛使用各种小型电子零件，这些小型电子零件的加工需求，促进了高精度、高效率的高速压力机的发展。金丰（中国）机械工业有限公司、江苏扬锻科技有限公司、高将精机厂股份有限公司、江苏扬力集团有限公司、徐锻集团和西安通力科技有限公司等都有高速压力机产品。这些压力机广泛应用于电子和微电子行业，全面提高了行业技术装备水准，替代了大量的进口机床。

4. 印制电路板解决方案

印制电路板（Printed Circuit Board，PCB）制造技术是电子信息制造业的重要基础和组成部分，印制电路板数控钻床是印制电路板精密孔位加工关键的工艺装备。以通信、计算机、视听设备等为代表的电子产品“小、轻、薄”的发展趋势和特点，对印制电路板数控钻床提出了更高的要求。精度高、速度快、孔小而多、行程短已成为新一代印制电路板数控钻床发展面临的主要难题。高精度高速微孔印制电路板数控钻床是制约和影响我国电子制造业水平和电子信息产业基础配套能力的重要因素，是我国电子制造业与世界先进水平差距体现的重要环节之一。

印制板数控钻床孔位加工的具体特点和要求是：精度高，速度快，行程短，孔多而小。目前电子产品对电路板的技术要求越来越高，归纳起来为：基材性能好，尺寸薄，线宽线距细，孔小而多，单位面积输入 / 输出数更多更密，无故障工作时间更长、更可靠。

（1）主要基板材料　PCB 用基板材料的主要技术属性包括玻璃化温度、介电常数、介质损耗因数、热膨胀系数、焊接耐热性、铜箔剥离强度、弯曲强度、弯曲弹性率、吸水率等。

（2）PCB 产品的外形尺寸　PCB 产品的外形尺寸主要表现在最大或最小的外形尺寸：最大的或最小的 PCB 板厚；最多的板层数；最小的内层内芯基板的厚度；最小的半固化片厚度；最多的积层法多层板的层数；最小的积层法多层板的厚度等。PCB 产品尺寸以薄、轻、小为主要发展特点。

（3）PCB 的导体尺寸　PCB 的导体尺寸包括电源层及接地层的铜箔的最小厚度、信号层铜箔及导体的最小厚度、最小导体宽度 / 导体间距（包括最小导体宽度精度）。

（4）PCB 孔径 / 连接盘径及孔的数量　PCB 孔 / 连接盘孔一般分为三类，即金属层导通的贯通孔、埋孔或不通孔形式的非贯通孔及积层法的微导通孔。通过连接盘（焊盘）的密度也可以看出孔径 / 连接盘径的发展趋势是密度越大，孔径 / 连接盘径必然越来越小。

随着 PCB 配线提高和传输信号线数量的增加，孔数量也会明显地增加。积层法多层板及全层积层法多层板的微导通孔数量将成倍地增加。积层法多层板的设计将会使 PCB 结构中的层与层之间的连接用微小径导通孔（多指不通孔）的使用增加得更多，积层法多层板的布线密度的不断提高，极大地增加了多层板的布线空间。

PCB 的生产过程较为复杂，它涉及的工艺范围较广，从简单的机械加工到复杂的机械加工，有普通的化学反应，还有光化学、电化学、热化学及 CAD/CAM/CAPP/PDM 等多方面的知识。

在薄基板上进行微小孔加工的生产方法主要有机械钻孔、机械冲孔、激光钻孔、光致成孔、湿法化学蚀刻、干式等离子蚀孔、喷砂磨刻、导电柱穿孔、绝缘置换、导电粘接片等。但是目前最主要的加工方法有两种：一种是采用数控机床进行机械钻孔；另一种是采用激光钻孔加工。

印制电路板数控钻床是典型的光机电一体化产品。它以数控技术为基础，控制机床 X、Y、Z 三个轴的协调运动，当 X、Y 轴快速准确地到达目标时，计算机发出指令，Z 轴进行钻孔操作，实现精密孔位加工。

激光钻孔是利用被加工材料对激光波长的吸收，进行有效的能量转化，施行激光切除，实现基本的钻孔过程。PCB 钻孔用的激光器主要有 FR 激发的 CO_2 气体激光器和 UV 固态 Nd：YAG 激光器两种。

数控机床机械钻孔与激光钻孔两种加工方法均有明显的优、劣势：

1）速度方面，激光钻孔生产率较高，每分钟能钻 1 000 ～ 30 000 个孔，而机械钻孔一般只能达到 100 ～ 300 个孔。

2）小孔加工能力方面，激光钻孔孔径一般小于 ϕ0.1mm，而机械钻孔孔径一般大于 ϕ0.1mm，且实现 ϕ0.1 ～ ϕ0.3mm 范围的小孔加工，成本极高。激光小孔加工能力较强。

3）精度方面，激光钻孔孔径公差小于机械钻孔孔径公差，位置精度基本相同，但激光钻孔孔壁质量明显弱于机械钻孔。这是由于激光钻孔时，被加工材料受加热熔化的影响，容易造成孔壁的炭化或焦化。

4）适应能力方面，激光钻孔适应面较窄，对印制电路板的材料有所要求，不是所有的印制电路板材料都可以采用激光钻孔加工。这是因为激光钻孔的关键是被加工材料对激光波长的吸收率，只有被加工材料将高能量的激光吸收了，才可以有效地进行能量转化，施行激光切除。

5）成本方面，机械钻孔设备每台 20 万～ 200 万元，激光钻孔装备每台 300 万～ 500 万元，数控机械钻孔在成本上比激光钻孔要低得多。

虽然激光钻孔在打孔效率和小孔加工能力方面相对机械钻孔有优势，但激光钻孔在被加工材料的适应面及昂贵的机床成本等严重制约了激光钻孔的使用面。目前世界上 90% 以上的 PCB 孔位加工都采用数控机床机械钻孔，激光钻孔及其他加工方法仅占 10% 左右。因此，数控机床钻孔是目前 PCB 精密孔位加工的主流加工方法。

6.6.4 国内外 PCB 数控钻孔机的发展

1. 国外 PCB 数控钻孔机的发展现状

20 世纪 60 年代，电子产业开始迅速发展，对 PCB 的制造工艺水平及效率提出了更高的要求。发达国家的许多 PCB 加工设备制造商投入了大量的人力、物力和财力去研发性能更优的 PCB 加工设备，包括专门用于 PCB 钻孔的 PCB 数控钻孔机。

近几十年来，随着相关技术的不断提升，国外 PCB 数控钻孔机在钻孔效率、钻孔精度及微孔加工能力等方面取得了巨大进步，部分高端产品已经达到以下技术指标：X、Y 轴运动速度 90m/min；Z 轴运动速度 30m/min；主轴最高转速 300 000r/min；定位精度 ±0.004mm；重复定位精度 ±0.002mm；钻孔精度 ±0.015mm；最小钻孔直径 ϕ0.1mm。目前，国外著名的 PCB 数控钻孔机厂商有：德国的 Schmoll、日本的 HITACHI、瑞士的 Posalux 、美国的 EXCELLON、意大利的 Posalux、Mania 及我国台湾的东台等。

2. 国内 PCB 数控钻孔机的发展

国内 PCB 数控钻孔机起步较晚，20 世纪 80 年代中期才开始将数控技术应用到 PCB 钻孔领域。经过三十多年的发展，PCB 数控钻孔设备的功能、性能等有了很大提高，也涌现出许多知名的 PCB 数控钻孔机品牌，如大族、天马、万达、科捷等。但是，由于我国在这一领域起步较晚，发达国家又长期对我国进行关键技术封锁，国产 PCB 数控钻孔机和国外先进水平还是存在一定的差距，主

要体现在以下几个方面：

（1）加工效率　国内钻孔机正常钻孔速率可以达到 350 孔 /min，而国外的先进钻机可以正常工作在 500 孔 /min。

（2）加工精度　国外钻孔机的钻孔精度可以达到 ±0.015mm，而国产钻孔机的钻孔精度只能达到 ±0.05mm。

（3）可靠性　国产整机平均无故障工作时间在 300h，与国外平均 800h 相比有很大差距。

（4）微小孔加工能力　国内钻孔机最小钻孔直径能够达到 ϕ0.2mm，而国外则可以达到 ϕ0.1mm。

正是由于这些差距，国产 PCB 数控钻孔机主要是面向中低端市场，在行业内大约只占 10% 的国内市场份额。PCB 数控钻孔机国内外主要技术参数对比见表 6–1。

表 6–1　PCB 数控钻孔机国内外主要技术参数对比

主要技术参数	国外先进水平	国内先进水平
最大移动速度 /（m/min）	70	40
定位精度 /mm	0.002 5	0.005
重复定位精度 /mm	±0.001	±0.002 5
实际钻孔精度 /mm	±0.015	±0.05
最小钻孔直径 /mm	ϕ0.10	ϕ0.20
最大钻孔直径 /mm	ϕ6.0	ϕ6.0
最大钻孔速度 /（个 /min）	500	350

6.6.5　PCB 数控钻孔机的发展趋势

PCB 数控钻孔机作为 PCB 制造过程中的主要设备，为了满足市场的需求也在快速发展，概括起来主要有以下发展趋势：

（1）高速度　PCB 数控钻孔机的速度直接影响钻孔加工效率。速度的提高，一方面要求控制系统能够保证高速运算处理，另一方面，各轴必须能够达到更高的运动速度。PCB 数控钻孔的主轴采用空气轴承，转速达 300 000r/min 或者更高，

可使用的刀具直径最小达 0.05mm 或者更小；多主轴的机器采用每个主轴单独驱动，各轴的驱动方式由“交流伺服电动机＋滚珠丝杠”向直线电动机驱动方式转变；*X*、*Y* 导向逐渐向气浮导向发展，以获得更高的运动速度及加速度，并保证长的使用寿命。但是，直线电动机成本较高，主要用在一些高档产品上。

（2）高精度　PCB 数控钻孔机的精度直接影响孔的加工质量，对 PCB 产品整体质量有着重要的影响。为了保证高速条件下 PCB 数控钻孔机的加工精度，需要高性能的数控系统、执行装置及检测反馈装置。为使 PCB 高速数控钻床有足够的刚性和稳定性，避免微小的振动，采用花岗岩床身；*X*、*Y* 向工作台分离，并且采用蜂窝状结构的新材料，使得数控钻孔机质量减轻，速度提高，稳定性增强。此外，位置精度测量和反馈系统向光栅尺发展，采用全闭环控制，分辨率高且稳定。

（3）高可靠性　随着消费类电子产品更新换代越来越快，PCB 市场需求旺盛。许多 PCB 制造厂不得不 24h 不间断生产。如果 PCB 制造设备可靠性不高，经常出现故障，不仅导致工期延误，维修费、误工费等生产成本升高，而且一旦无法按时完成客户的订单，势必影响其信誉和市场竞争力。因此，高可靠性的数控钻孔机才能满足 PCB 制造业的需要。

（4）高效的刀库管理　刀库管理采用自动换钻和断刀自动检测系统。要实现换刀自动化，硬件上需要刀库、换刀机械手等辅助装置，软件上需要开发刀具管理系统及换刀控制模块等。采用高性能的自动换刀系统可以有效减少加工辅助时间，提高 PCB 数控钻孔机的加工效率。

（5）微细孔加工　随着高密度印制电路板的发展，直径小于 ϕ0.2mm 的 PCB 微细孔的数量急剧增加，对孔的加工质量也提出了更高的要求。虽然现在机械钻孔可以实现ϕ0.075mm的微细孔加工，但是技术上还不够成熟，不能大批量生产。一般情况下，直径小于 ϕ0.1mm 的微细孔仍主要依赖于激光钻孔加工。

（6）不通孔加工　PCB 数控钻孔机应具有钻深控制功能，能够钻不通孔；采用可转换式压力脚，能够根据不同的孔径调节使用，使得钻孔精度更高。目前，PCB 不通孔加工多采用激光钻孔，但是激光钻孔成本太高，如果能实现机械钻不通孔，将大大降低加工成本。

从技术层面上讲，目前我国 PCB 高速数控钻孔机的整体水平与国外存在较大的差距，尚没有掌握相关核心技术，亟待解决以下问题：

1）开发自主知识产权的超高速空气静压电主轴。

2）开发动态响应快、定位精度高、行程长度不受限制以及加速度大的直线驱动技术。

3）结合振动检测和主动阻尼抗振技术，在高速接近定位点时增大阻尼，提高系统的稳定性，减少振荡。

4）开发气浮导轨（摩擦力小、运动速度高、精度高、无爬行），可以获得非常小而且几乎一致的动、静态摩擦因数，使工作台有较高的灵敏度。

5）通过有限元分析等手段优化机身和横梁结构等，通过改变横梁和床身的形状来提高钻床的动态性能。

6）提高稳定可靠微加工微小孔的能力和效率，特别是加工 ϕ0.2mm 以下孔的能力，提高 ϕ0.5mm 以下孔的加工效率，减少断刀、破盘等现象，改善孔壁质量；实现不通孔及深孔的加工。

7）提高整机可靠性及自动化、智能化程度，尽快完善自动换刀、自动监测、远程诊断、实时智能控制、专家知识库、数据处理等功能。

6.7 开发适用于机床制造业的工作母机

工作母机最初是由毛泽东同志提出来的。1958 年 9 月 8 日，毛泽东同志在最高国务会议上讲话时说："机械里头有个工作母机，什么矿山、什么炼油、什么电力、什么化学、什么建筑、什么农业、什么交通运输，这些机器都要有个工作母机，无非是车、铣、镗、刨、钻之类，这些东西是根本的。"（毛泽东：在第十五次最高国务会议上的讲话，一九五八年九月八日）。

精密工作母机是保证国防和尖端工业发展的战略性基础装备。我国的这些装备长期受制于国外，为满足国民经济和国防建设的紧迫需求，设计制造出中国自己的精密工作母机，是中国机床行业多少代人的梦想。

以已有较好基础的精密龙门加工中心、高精度卧式加工中心、高精度数控万能磨床为突破口，以数控机床上具体的关键零件为加工对象，突破精密工作母机的设计技术、工艺技术和制造技术，通过高刚度结构设计技术、精度优化设计技术、热平衡设计技术、抑制振动设计技术及液体静压技术等研究，高精度制造和装配工艺技术的研究，空间误差补偿技术的研究等，加以充分的试验验证，突破机床可靠性和精度稳定性技术，瞄准现阶段国际先进水平，目标朝着瑞士 DIXI、瑞士斯图特、德国科堡等高精度"工作母机"产品方向努力，开发出满足生产应用的精密工作母机，为我国的制造产业发展提供有力的装备支

撑。虽然工作母机精度很高，价格很贵，但面对全国乃至全球市场，需求量也很大；可以以自己的产品装备自己，同时可以带动数控机床产业整体技术水平和制造水平的提高。

6.8 我国机床行业为制造业服务的创新案例

6.8.1 超精密球面镜加工机床

北京机床研究所利用具有自主知识产权的核心技术，研制生产的SPHERE200超精密球面镜加工机床，适用于陀螺仪等有批量生产要求的薄壁及实心球面镜的加工。长期以来，这种机床受制于国外严密的技术封锁，机床研制成功后，不仅使用户的加工技术处于绝对的优势，而且极大地推动了企业产品结构的战略转型和升级。

机床采用双腔体床身和双翅型整体结构设计，提高了抗振性能，降低了精密机床对环境的要求，保证了超精密机床精度的稳定性，如图6-30所示。

图6-30 SPHERE200超精密球面镜加工机床

该机床微调对位机构的设计很好地解决了工作转台回转中心与主轴回转中心空间相交的问题。针对加工零件的特殊工艺要求，采取了双半球装夹方式，同时结合空间三维微调对位技术，达到对球心位置的精确控制；通过工艺研究改善了切屑形成的流畅性问题，大大提高了批量生产半球零件的加工精度和互换性。

机床加工实心工件可达到的面形精度：PV（Peak Value，峰值）值 0.27μm，RMS（Root-Mean-Square，均方根值）值 0.03μm；薄壁零件的球面面形精度 <2μm，工件的表面粗糙度 R_a0.003μm（3nm）；批量加工工件的尺寸一致性达到 0.3 ～ 0.7μm。SPHERE200 机床加工样件和加工现场如图 6-31 所示。

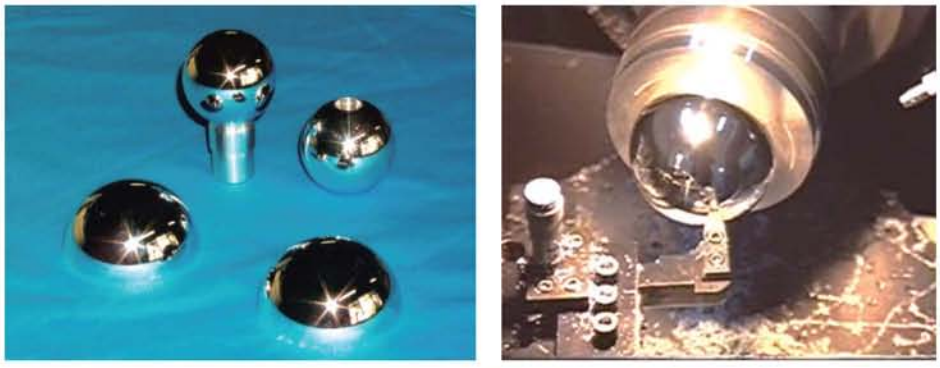


图 6-31　SPHERE200 机床加工样件和加工现场

北京机床研究所先后为用户提供了 4 台相关设备，到 2012 年已使用户产生直接经济效益 5 亿元，并由此带动配套系统产品收益达 35 亿元，产生了巨大的经济效益。在支撑企业提高核心竞争力的同时，为我国提升现代化建设基础实力，打破国外垄断，实现自主创新做出了突出贡献。

6.8.2　七轴龙门式复合加工中心

福建省威诺数控有限公司研制的 WN-LF 6016×3 七轴龙门式复合加工中心，是在龙门铣床布局的基础上，以两个卧式加工中心的立柱模块作为龙门铣床的左右立柱，并分别内装滑枕式铣头及两套自动换刀装置，可实现多面同时加工，整体结构对称，温度场均匀，精度稳定（图 6-32）。该复合加工中心适合于工程机械、大型车桥、军工坦克、汽车车桥等高端装备制造业领域，特别对双侧孔有高同轴度要求的动臂、摇架等零件更有明显的高效精密加工的优点，并以“精度达到国际先进水平、效率提高 30%、成本优化 40%”三大核心优势面对进口同类产品，打破当前该领域国外进口产品的垄断局面。WN-LF 6016×3 七轴龙门式复合加工中心是一种在分析用户需求基础上研发的集成创新的产品，它的推广与普及将加速工程机械等制造企业加工设备的更新换代进程，对提升我国高端数控机床制造水平有着重要的意义。

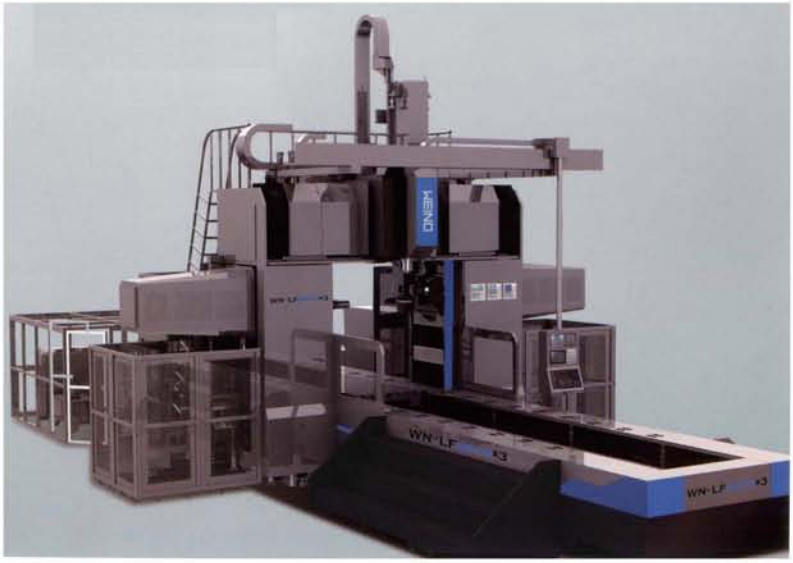


图 6-32　WN-LF 6016×3 七轴龙门式复合加工中心

6.8.3　数控雕铣机

数控雕铣机是一种新型数控加工机床，它的诞生弥补了通用数控机床（铣床、钻床等）加工功能单一、加工中心加工小型产品成本过高的不足，为我国制造业的发展提供了一种性价比很高的新型机床产品，是我国机床工业中的新军。数控雕铣机行业从 2000 年前后逐渐起步，成为机床工业的一个重要分支。目前，国内已经出现了一批具备一定规模的雕铣机厂家，为我国雕铣机行业的进一步发展创造了良好的条件。

北京精雕科技有限公司作为数控雕铣机生产厂家的代表，已达到年产 800 台数控雕铣机的规模，主要面向模具加工、玻璃磨削加工、非金属材料加工、木器浮雕、刀具雕刻等行业，并涉及五轴加工领域。

具有自主知识产权的数控系统及专用软件，对提升应用效果起到推动作用。交流伺服驱动系统使机床运动平稳，控制精度高，并且具有专业的“快加速、快回头”的运动方式、高效的小线段光顺技术及独特的定步长运动。系统还具有选择加工功能、刀具路径编修手段、在控制界面上及时调整工艺参数等操作方式及高效的循环雕刻和阵列雕刻等工艺管理功能，方便地实现工艺优化和规范化。实用的专业软件具有曲面残料补加工识别当前残料模型、混合清根功能、3D 环绕等距精加工及消除浮雕侧边锯齿等特殊功能，专用于模具、电极、玻璃、刀具、木器及三维扫描等加工及测量应用场合，可提高生产效率和加工效果。

6.8.4 加工超临界核电半速转子的超重型数控卧式镗车床

武重集团研发的用于超临界核电半速转子加工的超重型数控卧式镗车床，是目前世界规格最大、承重最大的超重型数控卧式镗车床，其最大工件回转直径达 ϕ5 000mm，两顶尖承重达 500t，具有以车削为主，兼备镗、钻、珩磨、铣、磨等复合功能，加工精度达到国际先进水平，直径 ϕ1 000mm 的超重型高精度静压主轴轴承的径向圆跳动公差达 0.006mm，居世界领先水平。该机床在实现大承重的同时，将车、铣、大直径深孔镗、小直径深孔钻、镗、珩磨等多功能复合于一体，很好地解决了超临界核电半速转子、超重型轧辊、超大型水轮机主轴及巨型船舶新型舵轴等超大型超重复杂零件的加工问题，在一台机床可完成超重型轴类、套类复杂零件的全部加工工序，实现了此类零件高效、高精度加工。该系列产品已生产 40 多台，目前正在中国第一重型机械集团公司、中国第二重型机械集团公司、大连船舶重工集团有限公司、天津赛瑞机器设备有限公司、上海福伊特西门子水电设备有限公司等重要用户中使用。

同时，武重集团首次推出了 YKW31800 数控滚齿机，最大加工直径达 ϕ8m，模数达 40mm，具有单齿铣削的功能。该机床依托“重型六轴四联动数控滚齿机”国家科技重大专项成果，主要技术指标和性能达到现代国际同等水平，是重型机床出口到国外的典型代表之一。

6.8.5 四转动一平动五轴联动加工中心

北京胜为弘技数控装备有限公司研制生产的 AX0 四转动一平动五轴联动加工中心采用华中 8 型系统，五轴联动，主轴转速达 53 000r/min，A_1、A_2 轴转速达 33r/min，B_1、B_2 轴转速达 22r/min，直线轴 Z 速度为 20m/min，回转轴定位精度为 ±15″，直线轴定位精度为 0.015mm。该机床为自主创新的新概念机床，其工作原理基于四个摆动轴和一个直线运动轴的空间插补运动。其中，两个摆动轴带动工件确定待加工点的法矢量方向，另两个摆动轴带动主轴确定刀轴矢量方向与法矢量方向重合，沿法向的直线轴带动主轴进给，适用于叶轮、叶片、模具加工。研究的深入将会形成叶轮、叶片机床、小型腔模具铣削机床、齿轮加工机床、刀具磨床多轴联动机床新的结构布局形式。

6.8.6 为汽车行业提供的先进适用机床

汽车行业是我国的支柱产业。随着我国经济的发展，各类型汽车的数量也迅猛增长，市场对汽车的需求量日益增加，对各大汽车厂商的生产能力提出了新的

挑战。北京机床研究所针对汽车制造业的发展需要，依靠几十年的技术积累，研制了一系列数控机床，应用于汽车关键零部件制造，并部分代替进口，为我国汽车工业的制造技术发展及关键件的研制做出应有的贡献。

1. 高精度立式、卧式加工中心

在北京市科技计划项目“μ级制造装备及技术研究”（简称μ级工程）的支持下，研制开发了μ1000/3V系列立式加工中心及μ2000/630卧式加工中心，应用于原北内集团总公司6V87发动机生产线的柔性化技术改造，是汽车发动机缸体缸盖生产线重构制造装备研发中的关键设备之一，主要用于汽车发动机缸盖进排气孔及阀座复合加工（铸铝合金），缸体气缸孔及曲轴颈孔精加工（球墨铸铁）。在原缸体、缸盖组合机床生产线上加入高精度卧式加工中心和立式加工中心，并纳入正常的生产运行，通过提供高效精密数控机床，对相关的先进制造工艺、工装的研制，以及对柔性生产线联线工程的实施，实现多品种变批量生产，提高加工精度和加工效率，为汽车发动机关键件生产提供了有市场竞争力的成套装备和技术。该机床也成功地应用于安徽天长公司汽车发动机缸盖生产线上。

北京机床研究所在研发的过程中充分考虑了不同使用条件下的产品变型，完成了三轴、四轴、五轴立式加工中心的开发，形成了新一代高性能立式加工中心系列（如图6-33所示），具有很高的加工精度和较好的通用性，可用于不同用户不同要求的零件加工。机床已实现销售几十台，除应用于汽车零件制造外，还用于军工、航空航天、模具加工、电子元器件零件加工等先进制造业的生产，取得了良好的经济效益和社会效益。

图6-33　μ1000/3V系列高精度立式加工中心

床身采用三点支撑，整机结构刚性和基础件设计刚性好，在高效率的前提下，可保持高精度、高稳定性和运行的高可靠性。滑座顶置式结构，能兼顾运动部件结构轻型化和高刚性化，适合高速和强力切削。机床基于可靠性增长分析的部件及元器件设计，具有自主知识产权的热变形误差补偿和平面位置误差补偿技术的应用，以及针对高速、高精密机床的加工和装配工艺技术的研究，确保了机床的高可靠性和精度稳定性，技术指标达到国际同类产品的先进水平。

电主轴最高转速 20 000r/min，快速进给速度达 48m/min，换刀时间≤ 1.5s，主轴内冷压力达 22MPa，组合式排屑装置保证排屑流畅彻底。定位精度 0.005mm，重复定位精度 0.003mm，金属切除率 400cm^3/min(45# 钢)。

2. 高效、精密数控车、磨复合加工机床

北京机床研究所承担的“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项课题——高效、精密数控车、磨复合加工机床，是针对用于生产 CVT（自动变速箱）主动轮与被动轮高精度轴套类（高硬度材料）零件的车、磨复合加工需求，研究开发的可在一次装夹中实现外圆、端面、内孔及内沟槽的高效、高精度连续车削、磨削的复合加工机床（如图 6-34 所示）。产品已在湖南江麓容大车辆传动股份有限公司的生产中实现应用，替代了进口，促进了产业结构调整和升级。

图 6-34　高效、精密数控车、磨复合加工机床

机床床身上布置十字工作台和工位平台。工件主轴布置在十字工作台上，具有 C 轴控制功能，主轴端配套气动高精度卡盘，用于工件快速安装。十字工作台为两个直线进给轴，其中 Z 轴为滚动导轨和滚珠丝杠驱动结构，X 轴为滚动导轨和直线电动机驱动机构。采用整体式封闭冷却装置，控制大梯度温差热场的形成，减小切削区域机床温度的变形。通过合理设计床身、溜板、主轴箱、各切削轴、直线电动机等各部件的特殊冷却方式，以及缓变实时热补偿技术，来减少机床的热变形影响。同时对机床结构中不同方向的热传导速度进行控制，实现机械结构的自适应补偿控制，为高精度加工打下基础。

机床的最大车磨直径 200mm，最大磨削内孔直径 50mm；X 轴采用直线电动机驱动，快速移动速度≥ 80m/min，重复定位精度 <0.002mm。整体技术水平接近国外同类机床先进水平。

3. 共轨阀体偶件硬车削机床

北京机床研究所参与了“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项课题——电控共轨柴油喷射系统制造技术与关键装备的研发及应用，并承担其中的关键设备“亚微米精度共轨系统零部件数控硬切削机床”的研发任务，针对具体的加工零件，研制了 μ4 000/45HT 共轨阀体偶件硬车削机床，如图 6-35 所示。该机床既可满足汽车共轨偶件的精密加工需要，也可用于进油阀、限压阀、限流阀及类似高硬度淬火零件的精密加工。电控共轨系统是汽车领域技术难度最高的一项核心技术。柱塞偶件、喷油嘴偶件、进出油阀偶件等部件都是配合要求极高的高精度偶件。零件淬火硬度高，加工精度要求高，传统加工手段为磨削加工。

该机床采用龙门式结构，主轴悬挂形式。主轴可以沿轴线方向（Z 轴）及垂直主轴轴线（X 轴）方向做切削进给运动，X 轴、Z 轴采用直线导轨结构，直线电动机驱动。机床的基础大件采用焊接结构、树脂灌注材料床身，具有高刚性且吸振性好，保证机床具有高的整体刚度，良好的吸振性、精度保持性及工作稳定性。为满足小直径淬火零件的高精度车削加工，在机床的刚性、振动、转速、精度方面做了很多工作。

机床的几何精度和加工精度均达到亚微米级。主轴径向跳动≤ 0.5μm，定位精度≤ 0.004μm，重复定位精度≤ 0.002μm；主轴最高转速 10 000 r/min，行程 250mm/100mm；内孔加工圆度达到 0.2 ～ 0.3μm，加工粗糙度达到 R_a0.075μm。具有较大的精度储备，能满足汽车零件批量生产需要。

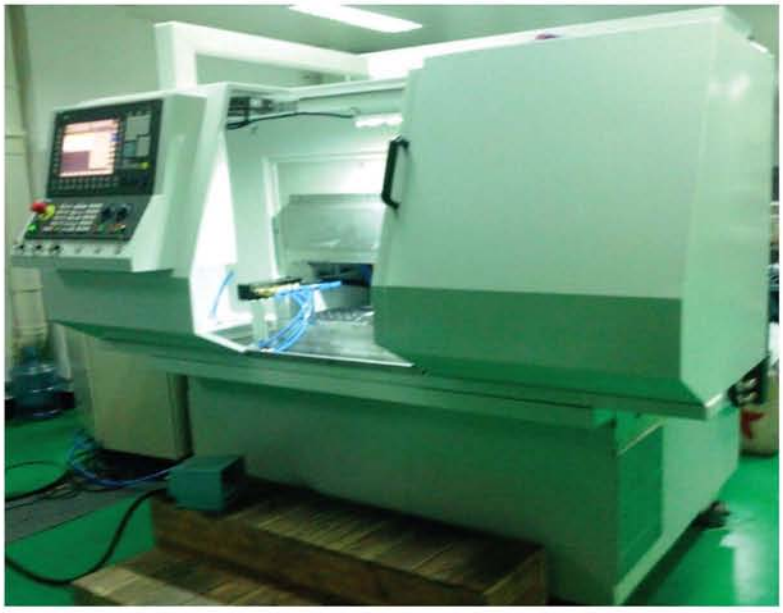


图 6-35　μ4000/45HT 共轨阀体偶件硬车削机床

4. 汽车发动机缸盖气门精加工专用车铣复合机床

在汽车发动机的关键零件缸盖的加工中，导管孔和阀座面的加工是重中之重。零件精度要求非常高，阀座面的圆度要求为 0.005mm，直线度要求为 0.01mm，对于导管孔的跳动要保证在 0.03mm 以内。同时对机床的加工质量和可靠性要求也很高，要求 $C_{pk} \geqslant 1.67$。目前国内主要采用加工中心配合成形刀具来加工，这种方式的弊端在于加工精度不够稳定，尤其是跳动 0.03mm 很容易超差，造成废品。主要原因有三个：① 用两把刀进行加工，机床主轴存在重复定位误差。② 机床主轴端面的跳动精度要求很高，普通机床很难达到。③ 采用铣削的方式加工阀座锥面，会在沿母线方向上形成较大的振纹，而这种振纹对发动机工作时的影响非常大，会降低阀座的密封性，增大气体排放，从而降低发动机燃烧的工作效率。

北京机床研究所研制的汽车发动机缸盖气门精加工专用车铣复合机床（如图 6-36 所示），采用具有自主知识产权的创新结构，有效地解决了上述问题。机床对刀具进给的独立驱动及主轴结构进行科学合理的设计，除主轴旋转电动机外，增加两个伺服电动机，分别对加工导管孔的铰刀和车削阀座导向面的车刀进行独立的进给控制，完成加工动作，在狭小的空间内实现了复合加工的功能，大幅提高了零件加工精度和质量稳定性，满足了用户的需求。

图 6-36　汽车发动机缸盖气门精加工专用车铣复合机床

机床工作台尺寸 1 000mm×500mm，工作台承载能力 800kg，工作行程（*X*/*Y*/*Z*）800mm/250mm/500mm，主轴电动机功率 15kW/22kW，主轴最高转速 2 500r/min，快速进给速度 24m/min，定位精度（ISO230—10791）0.006 mm，重复定位精度 0.003 mm。

该机床已在天长缸盖有限公司得到应用。实测零件加工精度较高，圆度为 0.002mm，直线度 0.003mm，跳动在 0.01mm 以内，完全可以达到 $C_{pk} \geqslant 1.67$ 的要求。

6.8.7　适用于航空航天零件加工的五轴摆头加工中心

μ2000/5SS-800H 五轴摆头加工中心是北京机床研究所研发的一款精密、高效、综合加工先进的五轴加工中心产品，适合五轴或五面零件的加工，可满足高端客户的需求。机床采用高强度基础件，前后床身、立柱整体铸造，对称结构设计；旋转主轴单元为内装式电主轴，多种冷却设计，降低主轴发热对精度的影响，实现高精度加工；摆动的 *A* 轴为双力矩电动机对称驱动，动态精度好，性能稳定，如图 6-37 所示。

机床的工作台尺寸 800mm×800mm，工作台承载能力 1 200kg，*X*/*Y*/*Z* 轴行程 1 400mm/1 000mm/1 415mm，定位精度 0.007mm，重复定位精度 0.004mm，主轴最高转速 6 000 r/min，*A* 轴摆动范围 -30° ～ +90° 。

图 6-37　航空航天零件加工用五轴摆头加工中心

该机床已成功地在中国南方航空工业（集团）有限公司及中航工业北京航空制造工程研究所的生产现场服役。主要用于发动机燃烧机匣机体零件的小批量高精度加工，以及飞机发动机安装边系列零件的加工，加工性能稳定，工艺方式先进，具有较高的精度和通用性，效率比原有工艺提高 20% 以上，成为用户的重点设备。

6.8.8　我国数控机床产品的开发途径

随着我国重大专项的深入实施，一大批适应战略性新兴产业制造需求的高端数控机床陆续开发研制出来，其产品性能和技术水平已部分满足制造业要求，从长远看可推动我国制造业的大发展。但是现在产业化和工程化进程缓慢，还不能马上投入到机械制造领域中，大量的高端数控机床仍靠进口满足。

结合我国市场需求实际情况，数控机床产品研发应多头并进，主要考虑从以下三个途径进行。

1. 进一步推进高质量、高性能中档数控机床的产业化

近几年，我国进口数控机床的平均单价有下降趋势，其原因主要是国外很大一部分中档产品进入我国，严重影响了我国机床企业的市场。根据有关统计，进口数控机床中中档机床数量占了 50% 以上，金额占 25% ～ 30%，虽然我国中档

数控机床技术相对成熟，生产量很大，但因为国产数控机床的可靠性、精度保持性较差，对制造工艺研究不透彻，无法很好地发挥机床的优势潜力，更不能很好地为用户服务，使用户快速获得收益的愿望无法实现，导致用户宁可选购价格稍高的进口中档机床，也不愿为使用国产机床而冒风险。

国家应大力推进中档数控机床的产业化，机床制造企业应切实解决机床可靠性和精度保持性问题，从原材料和功能部件的源头抓起，严格控制设计和制造的过程质量，重视零部件试验和整机试验，规范制造工艺和装调工艺规程，科学控制采购环节，把好外购件质量关，为机床的可靠应用打好基础；同时，应积极扩大应用市场，提高经营管理能力和效率，降低制造成本，提高产量，提高利润率，实现替代进口并出口创汇。

强化制造工艺研究，加强企业与用户的紧密结合，主动进行新工艺摸索，多从用户使用角度出发，以提高生产率和降低单件零件制造成本为终极目标，使用户得到最大实惠，促使用户愿意购买国产机数控床。

2. 根据制造业工艺需求快速研制专门化机床并产业化

近几十年来，我国制造业长期保持快速发展，新的制造领域不断涌现，对数控机床的需求日新月异，这就要求我国机床企业能够洞察市场变化，发现市场商机并进行快速反应，需要企业长期的技术积累和市场调研积累。

专门化机床是为提高生产率和稳定的产品质量而诞生的。根据零件工艺特点，从机床结构设计开始就与目标加工零件紧密联系，减少功能冗余，提高性能，最终实现机床零件数最少、成本最低和可靠性最高的目标，并且及时产业化，快速占领市场。

3. 紧抓高端数控机床的研制并加快实际应用步伐

鉴于重大专项的强力支持，高端数控机床的研制进展顺利，为了更好地满足战略性新兴产业的需求，应拓展机床门类，扩大机床应用范围，进一步提高机床的功能、性能及可靠性水平，重视高端数控机床的设计和制造工艺研究，注重用户的实际要求，与用户共同完成产品创新和工艺创新，为实现制造强国作出应有的努力。

以汽车、航空航天、能源、生物工程等为突破点，既要开发满足大批量生产的高端数控机床，也要开发满足高精度、复杂型面及重型零件加工的高端数控机床。建立高端数控机床试验室，对机床的结构、工艺、性能等作深入的试验研

究，并不断进行改进；深入系统地对机床的加工工艺、整机装配工艺、部件结构、刚性热变形、振动和噪声等基础理论进行研究，开发各种性能优良的先进机床。大力发展数控系统、关键功能部件、关键基础零部件及原材料和元器件等先进的机床配套件，为生产高端数控机床打好基础。充分发挥产学研用相结合的优势，发挥政府的引导和监督作用，尽快实现采用我国高端数控机床装备自己的制造业和新兴产业。

第 7 章　高档数控机床与基础制造装备科技重大专项引领机床行业技术进步

数控机床重大专项自 2009 年实施以来，不断加强和完善组织实施和管理措施，取得了一批阶段性成果，并在重点领域用户企业成功应用，更有部分产品在与国际先进技术产品同台竞争中赢得订单，成功进入国际高端市场。国家科技重大专项推动行业企业技术进步明显，激励着机床工具行业相关人员调整产品结构，转变发展方式，推动行业科学发展。

本章将根据由国家工业和信息化部汇集并经中国机床工具工业协会整理的 45 家企业承担的 70 个项目成果的概要内容，突出成果在重点领域的应用，展示国产高档数控机床在重点领域典型用户及国产数控系统和功能部件在主机上的推广应用，体现国家科技重大专项对推动行业技术进步、促进行业加快“转方式、调结构”取得的丰硕成果。

7.1　专项任务

“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项自 2009 年实施以来，按照专项实施方案确定的总体目标和重点任务，已完成了总体布局和任务分解，部分课题已经取得了丰硕的成果，部分课题取得了显著进展，为专项任务的后续研究和技术突破打下了坚实的基础。

1. GGDYT-001A 活塞加工自动线

开展了汽车发动机关键件加工设备的基础技术研究，以及装备制造技术和自动线技术研究，完成了缸体、缸盖和活塞高效高精加工成套设备的开发。设备已在用户单位试车生产。

技术突破

1）高速高精机床高刚度轻量化技术。

2）高速高精机床动态性能测试与评价技术。

3）高速高精机床误差检测补偿技术。

4）伺服优化技术。

5）自动线可靠性技术。

2. 轿车变速箱齿轮加工自动生产线

完成了YE3120CNC7数控高速干切滚齿机、GDV300数控倒棱机、YZ4232CNC5五轴数控精密剃齿机、进出料仓的研制，以及齿轮加工自动生产线网络化现场管理与智能监控系统、自动生产线系统集成技术的开发，成功研制了国产化齿轮加工自动生产线。已有3条生产线交付用户使用，其加工节拍、加工精度、机床能力指数 C_{pk} 值、自动生产集成设备平均无故障时间MTBF等多项指标均达到用户要求。另有5条自动生产线正在装配、调试中，2013年将交付用户使用。

产品特点

1）全线采用国产设备。

2）绿色环保、低碳节能。

3）技术突破。

4）网络化现场管理与智能监控系统。

5）生产线系统集成技术。

3. CK9555大功率船用柴油机活塞加工用变椭圆车床

研制完成了CK9555大功率船用柴油机活塞加工用变椭圆车床样机。机床最大回转直径为 ϕ550mm，最大加工长度达1 000mm，长、短轴最大变化量为3.6mm，车削主轴最高转速达1 500r/min，主轴回转精度为2μm，快速进给速度为15m/min，刀塔直线电动机的重复定位精度为0.5μm，加工表面粗糙度值为 R_a0.8μm。

产品特点

1）衍生式数控系统，操控更加简单和方便。

2）双导杆旋转液压尾座顶紧装置，提高加工精度和刚性。

3）排刀结构减少了转塔刀架本身的误差。

4）模块化工装设计，满足多品种工件需求。

5）在线非接触式测量，实时补偿。

4. 高速数控车床及车削中心

完成了高速数控车床及车削中心的研制任务。机床最大回转直径为 ϕ450mm，最大车削直径为 ϕ250mm，主轴转速为 80 ～ 8 000r/min，12 工位刀架（6 工位动力刀具），动力刀具转速为 6 000r/min，功率为 4.1kW。该项目正等待国家科技重大专项办公室正式验收。

（1）产品特点

1）大功率内装式电主轴。

2）高精度闭环控制。

3）超高速 12 工位伺服转塔刀架。

4）变频液压动力单元。

5）应用国产数控系统和功能部件。

（2）技术突破

1）整机动静态特性监测技术。

2）整机热变形及热补偿技术。

3）整机刚度设计技术。

4）高速主轴单元技术。

5）高速进给技术。

6）整机可靠性技术。

5. BM63150C 精密数控车床及 BM63150X 精密车削中心

完成了 BM63150C 精密数控车床和 BM63150X 精密车削中心两台样机的试制工作。机床最大车削直径为 ϕ630mm，最大车削长度为 1 500mm，主轴转速为 5 000r/min，动力刀具转速为 10 000r/min，*X*/*Z* 轴快进速度为 36m/min。

（1）机床特点

1）人造花岗岩整体式床身。

2）大规格精密直驱式动静压主轴。

3）电动机直连驱动、径向装刀式高性能动力刀架。

4）中心冷却精密滚珠丝杠。

5）双向宏微结合的进给系统。

（2）技术突破

1）人造花岗岩整体式床身设计与制造，精密加工。

2）精密动静压主轴与电主轴的配套应用技术。

3）宏 / 微进给系统的结构设计及装配调试。

6. ECK2150A 数控活塞变椭圆车床

研制完成 ECK2150A 数控活塞变椭圆车床样机，并交付用户使用。机床主轴转速为 10 ～ 800r/min，加工活塞直径为 ϕ160 ～ ϕ500mm，最大加工长度为 1 000mm，加工活塞长度为 200 ～ 750mm，活塞直径变化量为 3.5mm。

（1）产品特点

1）高精度、高刚性、高频响、多轴联动。

2）高频响直线伺服电动机。

3）专用数控系统。

（2）技术突破

1）大刚度、高精度、高频响直线伺服控制技术。

2）活塞变椭圆型面的数学模型及软件设计。

3）变椭圆活塞加工的专用数控系统开发。

4）精密测量技术。

5）复杂刀具设计。

7. 数控重型桥式龙门五轴联动车铣复合机床

在引进、消化、吸收国外产品与先进技术的基础上进行创新，完成了 XKA28105 重型数控桥式动梁龙门复合铣床、XKAV2780 龙门移动式数控五轴镗铣床、XKAU2890 数控桥式双龙门镗铣床 3 台数控重型桥式龙门五轴联动车铣复合机床的研制。

机床特点

1）规格最大：龙门通过宽度为 10.5m。

2）双龙门：定梁、动梁组合。

3）车铣复合：配有大规格数控转台。

4）五轴联动：配有 *A*/*C* 轴机械式摆角铣头。

5）球墨铸铁整体浇铸的横梁。

6）大行程静压滑枕。

通过产品研制，对重型机床开发中的关键技术进行攻关，完善重型和超重型数控机床系列产品的研发手段和实验室平台，形成自主研发、设计与制造能力和

自主核心技术，提高自主创新能力和核心竞争力。

8. 水室封头专用数控龙门移动式车铣加工中心

完成了核电压力容器中水室封头专用数控龙门移动式车铣加工中心样机CXK5463的研制。

技术突破

1）定位精度与重复定位精度可靠性技术。

2）精度保持性技术。

3）动态补偿技术。

4）工作台旋转与分度的互锁技术。

9. 数控重型曲轴铣车复合加工机床

完成了数控重型曲轴铣车复合加工机床2台样机研制，分别为CWT130×145/180L-MC和2×CWT100×120L-MC，并在武汉重工铸锻有限责任公司全资子公司青岛海西重工有限责任公司得到实际应用。

（1）产品特点　在一台机床上完成万匹马力以上船舶用柴油机半组合曲轴热装后的主轴颈、法兰和曲轴颈的半精加工和精加工。

（2）技术突破

1）数控旋风刀架和切削刀架的设计和制造技术。

2）具有C轴自动精密分度功能及双电动机主轴偏载自动平衡功能的主轴箱设计和制造技术。

3）具有调整自动补偿功能的中心架设计和制造技术。

4）曲轴偏差在线检测及无线接收处理技术。

10. 用于港口和船用大型零件加工的超重型数控卧式镗车床

完成了超重型数控卧式镗车床样机的研制，并在上海振华重工（集团）股份有限公司投入使用。

（1）产品特点

1）可实现车、钻、镗等多种工序复合加工。

2）最大回转直径为ϕ6 300mm。

3）最大工件长度为12 000mm。

4）最大加工直径为ϕ6 300mm。

5）工件最大质量为120t。

（2）技术突破

1）超重型高精度伺服静压支承技术。

2）超长床身组合加工及装配技术。

3）高刚性、防振新型主轴箱的设计与制造。

4）超重型主轴箱超精密滚动轴承设计及制造。

5）重载、大直径支承范围的复合中心架的设计与制造。

6）加高型、高精度、大切削力的闭式静压数控刀架的设计。

11. HDVTM160×10/8L–MC 高档立式铣车复合加工中心

研制成功 HDVTM160×10/8L–MC 高档立式铣车复合加工中心样机。

（1）产品特点

1）采用直驱技术。

2）七轴五联动。

3）加工直径为 ϕ1 600mm。

4）具有大型立车的车削功能和大型五面体龙门铣的铣削功能。

5）连续完成车、铣、钻、镗、攻螺纹等多种加工。

（2）技术突破

1）高速、高精度数控转台设计及制造技术。

2）大型工作台主传动及 C 轴双伺服直驱同步控制技术。

3）立式铣车加工中心平衡式横梁升降双驱同步控制技术。

4）直驱万能铣头动力刀架技术。

12. 超重型核电转子专用数控轴向轮槽铣床

完成了首台样机的制造并交付用户使用，已完成核电转子的试加工。在此成果基础上，根据其他用户的需求，成功完成回转直径为 ϕ1 250mm 的大型分度机构的派生产品研制，已在用户单位完成安装调试。

技术突破

1）整机优化设计和制造技术。

2）大转矩、高刚性主传动系统的设计与制造技术。

3）带阻尼技术的重载滚动导轨副的设计和制造技术。

4）高精度分度回转装置和重型支撑装置的设计与制造技术。

5）超重载转子轮槽铣削加工工艺研究。

6）轮槽成形刀具设计技术。

7）超重载转子轮槽铣床热变形规律及对策。

8）超重型核电转子专用数控轴向轮槽铣床的检测和补偿技术。

13. 高温合金航空发动机叶片五轴联动加工中心的研制与应用

成功突破了一批高温合金航空发动机叶片加工数控机床基础技术和关键共性技术，研制成功高温合金航空发动机叶片五轴联动加工中心样机 XKH400A。

产品特点

1）*X*、*Y*、*Z* 轴行程分别为 500mm、300mm、400mm。

2）*A* 轴回转角度范围为 360°，*B* 轴回转角度范围为 ±40° 。

3）主轴最高转速为 20 000r/min。

4）最大装夹长度为 400mm。

5）最大回转直径为 ϕ300mm。

6）*X*、*Y*、*Z* 轴定位精度为 0.008mm。

7）*X*、*Y*、*Z* 轴重复定位精度为 0.004mm。

8）全闭环控制。

9）直驱技术。

10）独特的机床总体布局。

11）新型的同步双驱动尾座机构。

14. TGK46100 高精度数控卧式坐标镗床

完成了 TGK46100 高精度数控卧式坐标镗床样机的研制。

（1）产品特点

1）工作台尺寸为 1 000mm×1 000mm。

2）主轴转速为 10 ～ 6 000r/min。

3）*X*、*Y*、*Z* 轴行程分别为 1 200mm、1 100mm、1 100mm。

4）*B* 轴在 0° ～ 360° 内连续任意分度。

5）*X*、*Y*、*Z* 轴定位精度为 0.003mm。

6）*B* 轴定位精度为 3″ 。

（2）技术突破

1）高刚度整体式床身设计。

2）高精度机床零部件制造技术。

3）热误差实时监测、预测及补偿技术。

4）精度保障技术。

15. 用于超临界核电半速转子加工的超重型数控卧式镗车床

完成了超重型卧式镗车床样机 1 台，并交付用户使用。

（1）产品特点

1）重车切削为主，兼备铣、钻、镗、磨复合功能。

2）最大工件回转直径为 ϕ5m，两顶尖承重为 500t。

3）主轴径向圆跳动公差为 0.006mm。

（2）技术突破

1）变频恒流静压轴承。

2）镗杆横移多轴同步。

16. 超重型数控落地铣镗床

完成了超重型数控落地铣镗床样机 TK6932 的研制，并在用户单位得到应用。

（1）产品特点

1）镗杆直径为 ϕ320mm。

2）铣轴端部直径为 ϕ450mm。

3）主轴最大转矩为 26 000N · m。

4）立柱行程（X_1 轴）为 41 000mm。

5）主轴箱行程（Y_1 轴）为 8 000mm。

6）镗轴行程（Z_1 轴）为 1 800mm。

（2）技术突破

1）大型构件的设计与制造技术。

2）单电动机和多电动机冗余驱动技术。

3）大惯量快速起动和制动技术。

4）超重方滑枕直线度补偿技术。

17. 高速立式、卧式加工中心

完成了 HMC80 系列卧式加工中心、XH786 型立式加工中心样机研制。HMC80 系列机床工作台尺寸为 630mm×630mm/800mm×800mm/1 000mm×1 000mm，主轴转速为 35 ～ 15 000r/min，快移速度为 50m/min，B 轴转速为 10r/min，工作台分度为 1° ×360，定位精度为 0.01mm，重复定位精度为 0.005mm，换刀时间为 2.5s；XH786 型立式加工中心工作台尺寸为 1 000mm×1 200mm，主轴转速为 35 ～ 15 000r/min，快移速度为 50m/min，换刀时间为 3.8s，定位精度为

0.010mm，重复定位精度为 0.005mm。

技术突破

1）整机结构动静刚度及优化设计。

2）高速主轴单元的结构优化设计及润滑。

3）高速进给系统结构设计及温度控制。

4）高速主轴单元动态监测。

18. 用于钛合金航空结构件加工的五轴联动加工中心

开发出满足钛合金航空结构件数控装备需求的具有我国自主知识产权和工程实用价值的加工钛合金材料的五轴联动加工中心——VMC25100U 立式五轴加工中心，完成样机 2 台。

（1）产品特点

1）刚性结构布局设计。

2）*B* 轴摆角 ±30°，任意分度，2 组蜗轮蜗杆结构消除间隙。

3）镶钢导轨结构，刚性强，移动平稳，精度高，承载能力强。

4）模块化设计。

（2）技术突破

1）滚动体卸荷特性对机床可靠性和精度稳定性影响。

2）重切削稳定分析与抑振技术。

3）主轴和进给系统热误差建模、检测与补偿技术。

4）五轴加工后置处理的核心算法。

5）航空结构件五轴联动加工程序的编制。

19. 高精度数控闭式静压转台立式圆台磨床

研制了 MGK28 系列数控高精度立式万能磨床，采用静压回转工作台，具有高精度、高刚性、高承载力、高定位精度、长使用寿命等特点，工作台直径为 ϕ1 000mm/ϕ1 200mm，主轴径向圆跳动、轴向圆跳动公差≤ 1μm，工作台径向圆跳动、轴向圆跳动公差≤ 1μm，分度精度≤ 1″，加工工件圆度公差≤ 0.8μm，表面粗糙度值≤ R_a0.1μm。

产品特点

1）采用三面静压闭式导轨自驱式圆转台。

2）专利技术的动静压磨床主轴。

3）大功率直驱工作台，带 C 轴分度功能。

4）一次装夹可以实现内外圆、端面、内外台阶面、内外锥面、内外曲线表面的精密加工。

20. 高档数控珩磨机

研制完成高档数控珩磨机 2MK2218YS 样机，配套用液压元件、机液伺服驱动装置、电液比例控制珩磨机床双进给专用阀组及液压系统、测量系统、数控系统均实现了国产化。机床加工孔直径为 ϕ50 ～ ϕ180mm，主轴最大往复行程为 800mm，往复速度为 3 ～ 30m/min，加工圆柱度公差≤ 0.008mm，圆度公差≤ 0.002mm。

技术突破

1）全新的珩磨机床主轴往复随动数字控制装置。

2）与广州数控合作开发数控珩磨机专用数控系统。

3）研制了一种珩磨机专用机液伺服阀。

4）开发了电液比例控制珩磨机床双进给专用阀组。

5）实现了主轴往复、主轴旋转、工作台移动或旋转、珩磨磨石粗涨压力控制、珩磨磨石精涨压力控制等五轴数控控制。

项目早期取得的部分科研成果，如液压元件、机液伺服驱动装置及珩磨专用数控系统已经应用到了中档数控珩磨机床上，并取得了用户的好评，产生了良好的经济效益。

21. 数控螺旋锥齿轮磨床

研制了 YKW2075 数控螺旋锥齿轮磨齿机样机。

产品特点

1）八轴五联动。

2）齿形与齿距偏差在线测量。

3）参数修正量优化计算。

4）回转精度、稳定性及可靠性高。

5）机床热变形控制及补偿。

6）最大加工直径为 ϕ750mm。

7）最大加工模数为 12mm。

8）最大齿宽为 110mm。

9）砂轮主轴最高转速为 4 000r/min。

10）加工精度为 5 级。

该机床适合汽车等行业对精密螺旋锥齿轮的加工。

22. 重型六轴四联动数控滚齿机

完成了重型六轴四联动数控滚齿机样机研制。

（1）产品特点

1）最大滚切工件直径为 ϕ3 200mm。

2）最大滚切工件模数为 30mm。

3）工作台直径为 ϕ2 550mm。

4）工作台承重 40t。

5）工作台转速为 0~3r/min。

（2）技术突破

1）滚刀架主轴无侧隙传动结构。

2）导轨面采用滚动块导向和液压油卸荷的复合技术。

3）重型数控滚齿机传动误差补偿技术。

23. 大型高效六轴数控插齿机

研制了 YKW51250 数控插齿机样机。

产品特点

1）六轴控制。

2）双蜗杆副消隙。

3）液压伺服驱动。

4）电子螺旋导轨。

5）工作台回转定位精度为 6″。

6）工作台回转重复定位精度为 3″。

7）在线测量。

8）最大加工直径为 ϕ2 500mm。

9）最大加工模数为 30mm。

10）最大加工齿宽为 550mm。

11）加工齿轮精度为 6 级。

该机床适合大型风力发电、大型锻压设备、大型冶金设备及大型船舶传动装置所需大型齿轮的加工需求。

24. YKH2235A 数控螺旋锥齿轮铣齿机

研制了 YKH2235A 数控螺旋锥齿轮铣齿机样机。

产品特点

1）最大加工直径为 ϕ750mm。

2）最大加工模数为 12mm。

3）最大齿宽为 110mm。

4）砂轮主轴最高转速为 4 000r/min。

5）八轴五联动。

6）砂轮主轴具有高速磨削切削液注入功能。

7）齿形与齿距偏差在线测量。

8）参数修正量计算。

25. 四工位电火花喷孔加工专用机床研究

以柴油机高压共轨喷油器零件微细孔的加工为研究对象，攻克了精密数控电火花喷孔加工装备及工艺方面的若干关键技术，研制完成精密数控电火花喷孔加工专用机床样机。

（1）产品特点

1）五轴控制。

2）1 个数控系统控制 4 个独立的电源。

3）可同时加工 4 个喷油器工件。

4）冲流式排屑。

5）加工孔径为 ϕ0.08 ～ ϕ0.30mm。

6）最佳表面粗糙度值为 R_a0.08μm。

7）加工效率≤ 50s/ 孔。

（2）技术突破

1）专用脉冲电源。

2）异常放电监测。

3）拉弧状态消除技术。

4）放电间隙控制技术。

26. WEF11K–40×23 000 超大型数控船用卷板机

研制成 WEF11K–40×23 000mm 超大型数控船用卷板机，突破 23m 超大型

数控船用卷板机核心技术。机床加工能力：厚度为40mm、宽度为23 000mm、屈服强度为345MPa的钢板冷卷最小半径为700mm；上辊的升降定位精度为±0.2mm，两下辊的水平移动定位精度为±0.2mm；卷板后工件母线直线度误差不大于±5mm/23m。

（1）机床特点

1）规格大，精度高。

2）上辊支承辊可单独调整，上梁和床身挠度可补偿。

3）连体式主油缸。

4）下辊分组驱动，可交流变频调速控制，两下辊中心距水平可调。

5）上辊防振装置。

（2）技术突破

1）超大型数控卷板机整体结构及关键部件的优化设计。

2）超大跨度上辊和床身挠度在线自动检测及多点高精度自动补偿。

3）主传动驱动，上辊挠度补偿、下辊中心距调节、主油缸连体设计等多项专利技术。

4）卷板机的节能减耗技术。

5）卷板机的可靠性和精度稳定性技术。

该系列产品在中国长江航运集团金陵船厂、长航重工江东船厂、青山船厂、山海关船舶重工有限责任公司、武昌船舶重工有限责任公司、黄海造船有限公司、舟山金海湾船业有限公司、京鲁船业有限公司、舟山中远船务工程有限公司、大连中远船务工程有限公司、广东中远船务工程有限公司、中船澄西船舶修造有限公司、江苏韩通船舶重工有限公司、江苏东方重工有限公司、新时代造船厂、扬帆造船集团有限公司、天津新港船舶重工有限责任公司、越南造船厂等企业得到应用。

27. 数控曲轴轴颈圆角滚压与滚压校直装备及其关键技术

开展了曲轴颈圆角滚压强化机理研究和圆角滚压强化工艺试验，进行了曲轴滚压变形规律及校直工艺过程的研究，研制完成了QH2-042数控曲轴圆角滚压机床样机。样机已在用户单位投入使用。

（1）产品特点

1）最大工件长度为750mm。

2）主轴颈连杆颈中心距为35～55mm。

3）偏心距为 30 ～ 65mm。

4）主轴转速为 10 ～ 55r/min。

5）主电动机功率为 11kW。

6）最大滚压力为 25kN。

（2）技术突破

1）曲轴滚压校直技术。

2）曲轴圆角滚压强化工艺。

3）曲轴滚压技术规范。

4）具有自学功能的智能专家系统。

5）精密定位和在线精密测量。

6）计算机实时控制和多通路压力控制液压伺服系统。

28. 大型复合材料筒形构件铺带机

完成了大型复合材料筒形构件铺带机样机 SKPC250/2000 的研制。

技术突破

1）单头多带和多头铺放等新型高效自动铺带技术。

2）高效自动铺带的 CAD/CAM 软件。

3）两步法预切割技术。

29. 可重构全数字高档数控装置研发及产业化

研发了具有全部自主知识产权的 GSK27 系列全数字高档数控系统，并实现高档数控装置的产业化，可满足具有五轴联动功能的铣削加工中心、车削加工中心、车铣复合加工中心等高档数控机床的配套需求。

技术突破

1）程序前瞻技术。

2）高速程序预处理技术。

3）多通道多轴联动控制技术。

4）多通道及复合加工控制技术。

5）纳米级高精度插补。

6）NURBS 样条插补。

7）旋转刀具中心编程。

8）空间刀补。

9）数控系统现场总线协议。

30. 高性能全数字通用型驱动装置及交流伺服电动机、主轴电动机的研制与产业化

开发了高性能全数字驱动单元 GS/GR 系列驱动单元，以及 SJT 系列交流伺服电动机、ZJY 系列主轴电动机，满足配套中高档和大型数控机床的多规格系列化产品的需要，并形成批量生产能力。

技术突破

1）大功率电动机拖动技术。

2）高功率因数伺服电源技术。

3）正余弦信号细分技术。

4）高速现场总线技术。

31. 高速、重载、精密滚珠丝杠及直线导轨的研制与产业化

研制了高速精密滚珠丝杠副、高速重载直线导轨，初步具备了批量生产高速滚珠丝杠和直线导轨的能力。

（1）产品特点

1）高速、高刚性。

2）高速度、高加速度。

3）低噪声、长寿命。

（2）技术突破

1）三维动力学建模方法及动力学仿真。

2）材料的选择与热处理工艺分析研究。

3）加工制造技术与工艺改进。

4）材料性能的分析研究。

5）返向机构优化设计及加工、装配工艺改进。

32. 三面静压闭式导轨高速、精密数控回转工作台

研制完成三面静压闭式导轨高速、精密数控回转工作台，形成了转台直径为 ϕ400mm、ϕ630mm、ϕ800mm 三种规格的系列产品。其中，ϕ400mm 回转工作台承重 400kg，转速为 1 ～ 170r/min，A、B 轴定位精度为 2.8″，重复定位精度分别为 1.5″、2″，A 轴转动范围为 –120° ～ +30° 。

（1）产品特点

1）高回转精度。

2）高角度定位精度。

3）高可靠性。

4）长使用寿命。

（2）技术突破

1）高速、精密数控回转工作台的结构设计及制造。

2）卡紧机构的结构设计及制造。

3）在线精密测量装置及技术。

33. 刀库及自动换刀装置

研制完成带凸轮换刀装置的大型刀库 BT50-80LSD 和高速盘式刀库 BT50-48GP 样机。

（1）产品特点

1）刀柄形式：BT50。

2）储刀仓容刀数量：80。

3）单刀最大重量：30kg。

4）刀具直径：125mm（满刀）；250mm（邻空刀）。

5）刀具长度：400mm。

6）刀链速度：0.4s/ 工位。

7）换刀时间：4.7s（刀对刀）。

（2）技术突破

1）大型刀库系统的整体设计技术。

2）数控接口技术。

3）伺服及控制系统。

4）储刀仓整体结构。

5）机械手精定位。

34. 高速、重载、精密滚珠丝杠及直线导轨研制

开发了低噪声滚珠丝杠副、空心高速高精滚珠丝杠副、端块式高速滚珠丝杠副、滚柱低噪声重载直线导轨副、自润滑滚动直线导轨副等产品，并能实现稳定批量生产。产品在沈阳机床、四川长征等企业承担的专项项目中得到了应用。

35. SLT 系列伺服转塔 / 动力刀架

完成了伺服系列转塔刀架样机的研制。该系列产品共 5 种规格，中心高分别

为 63mm、80mm、100mm、125mm、160mm，分度精度为 ±4″，重复定位精度为 ±1.6″，满载荷、连续无故障工作次数已达到 10 万次。

技术特点

1）模块化动力电动机接口。

2）VDI 刀盘、端齿盘、箱体的可互换性。

3）通用刀架本体结构。

4）刀架专用伺服驱动控制系统。

5）高精度的分度定位机构。

36. 专用领域高效可转位刀具系列及超硬工具

对汽轮机叶片加工、汽车发动机曲轴加工、高速火车车轮加工、无缝钢管及直缝焊管加工、高速轴承加工等制造业典型高效加工领域的加工技术开展了切削机理与专用系列刀具优化设计和制造技术研究，开发出了 13 个硬质合金刀具材料新牌号配方、2 个金属陶瓷刀具材料新牌号配方、2 种超级化学涂层工艺技术、1 种新型刀具涂层后处理技术及 68 种以上的高效可转位刀具及超硬工具系列产品。产品已在多家典型高效加工制造企业得到广泛应用。

技术突破

1）高效可转位刀具的刀具材料制备技术。

2）刀具表面涂层技术及后处理技术。

3）刀具几何结构优化设计及制造技术。

37. 大型、精密模具加工用高效数控刀具的研究与开发

突破了超厚 MT-Ti（C，N）涂层技术，使 MT-Ti（C，N）涂层厚度在 0 ～ 12μm 范围内可控；突破纯 α-Al_2O_3 超厚涂层技术，使 α-Al_2O_3 涂层厚度在 0 ～ 10μm 范围内可控。厚涂层的开发提高了涂层刀具的耐磨性能和使用寿命。开发了汽车关键零部件 YBD 系列铸铁加工用 TiN/MT-Ti（C，N）/α-Al_2O_3/（TiN）多层涂层刀具。

产品特点

1）韧性好。

2）硬度高。

3）抗化学磨损性能好。

38. 超细晶粒整体硬质合金涂层 PM/HM 系列精密铣刀的研究与开发

解决了硬质合金烧结过程中晶粒快速长大这一关键技术问题，研制出硬质合金多次、多阶段烧结工艺。建立了麻花钻钻尖数学模型、容屑槽数学模型，开发了汽车关键零部件钻削加工用 ST 系列麻花钻。

产品特点

1）独特的槽型结构，有效容屑空间大，排屑流畅，钻削平稳。

2）双平面主后面结构，横刃和内刃强度得以增强。

3）优化的主切削刃设计，切削更轻快，断屑优良。

7.2 专项成果及应用

7.2.1 专项成果

随着数控机床专项的逐年推进，专项组织实施的协同性不断加强，顶层设计越来越科学，产业链的关键和薄弱环节（功能部件和共性技术）在专项年度安排中得到重视并着力推动。数控机床专项目前已取得了一批阶段性成果，主要体现在：专项实施方案确定的十大标志性设备中的七项在“十一五”末期完成，并在实际应用中初见成效；专项成果中主机可靠性得到巩固提高；企业和高校科研院所之间逐渐建立起长期、稳定的产学研合作关系；机床制造厂和用户之间逐步建立起双方共赢的互信互利关系。数控机床专项的较快实施，对于实现机床行业和装备制造业的平稳较快发展、加快转变经济发展方式发挥了重要的拉动和促进作用，为专项“十二五”目标的实现打下坚实的基础。

研发完成了一批进口量大、市场需求面广的加工中心和数控车床，根据已验收课题的第三方检测机构的数据统计，数控机床主机 MTBF 已从“十一五”初期的 500 ～ 600h 提升至 900h 左右。例如已完成验收的“ADG 系列高速数控车床及车削中心”课题，产品技术指标达到课题任务书的各项要求，完成了 8 台样机试制，3 台已经在用户单位得到应用，其中 2 台采用国产数控系统和部分国产功能部件。课题典型试件的加工精度符合国家标准要求，能够达到以车代磨的车削效果，具有硬切削、干式切削等加工功能；同时该课题对国产数控系统及功能部件的应用起到良好的带动作用。

通过与主机联动，对数控系统、功能部件、数控刀具等产业链中的薄弱环节进行攻关，并开始批量配套应用。在高档数控系统研发方面，由于掌握了先进

的硬件设计和焊装技术，两种典型高档数控系统新产品 HNC848（包括应用国产 CPU 的系统）和 GNC60 的系统结构集成度高，结构紧凑，在系统硬件结构、集成度及其他技术方面不逊于国外主流数控系统。特别是 HNC848 采用了全密封结构主板技术，有利于保证系统处于较差使用环境下工作的可靠性。HNC848 和 GNC60 自备 UPS 电源，为系统非正常断电提供系统退出保护，能够提高系统的可靠性，此项技术具有特色。

3.6 万 t 黑色金属垂直挤压机、大型立式热处理炉等标志性设备已通过课题验收并投入使用。在专项研发成果基础上，济南二机床集团与福特汽车公司签订了 5 条用于美国本土新建工厂的全自动快速冲压生产线订货合同，开创了我国高档数控机床首次出口至欧美汽车主机制造厂的成功案例。

在航空大型结构件、汽车发动机、汽轮机叶片等领域安排了 6 项应用示范工程课题，促进了“十一五”已启动的单机、部件等阶段性成果的集成应用。“国产高档数控机床在典型飞机结构件加工中的示范应用”课题已完成 6 台示范应用机床的设计安装与调试，其中 5 台机床已经开始进行部分典型飞机结构件的加工应用。该课题还开展了基于“S 试件”试切的机床加工精度测评理论研究，“S 试件”已申请并获得国际专利，并被采纳为国际标准测试件。该项动态精度检测技术能快速、有效地诊断现场零件精度问题，缩短相关设备故障维修时间 30% 以上，下一步将在五轴联动加工机床制造领域推广应用。

在精密工具、高速 / 复合数控机床等重点方向上部署了 17 项创新能力平台建设课题，高校、科研院所与重点企业联合开展研究，使得创新能力平台已成为关键技术突破的主要技术来源。例如“精密工具创新能力平台”，以国内刀具龙头企业为主体，联合国内优势研究单位及汽车、航空等重点领域典型用户，充分利用国家、地方、行业已有科技资源，建立技术开发和管理运行水平国际先进的精密工具创新能力平台，使之成为精密工具研究开发的重要技术支撑和高端人才聚集基地。目前该平台已向行业转移 2 项精密工具系统设计与制造共性技术，形成 HSK、CAPTO 2 项新国际标准刀柄产品，建立了涵盖车、铣、钻等主要加工和典型零件加工并集成行业主要的材料和关键零部件加工的切削数据库。

1. ADG 系列高速数控车床及车削中心

研制了 3 种 ADG 系列高速数控车床及车削中心样机基本机型，并延伸出高速数控车床、高速中凸变椭圆活塞复合加工车床等共 8 台生产应用样机，解决了

1 项新工艺，开发出 1 项高速数控车床可靠性相关的分析软件。机床最大旋转直径为 ϕ440mm，最大加工长度为 500mm，最高转速为 8 000r/min，主轴回转精度 ≤ 0.003m，快移速度为 45m/min。

技术突破

1）高效加工结构优化设计技术。

2）热变形及补偿技术。

3）高速车削加工动静态监测技术。

4）主轴单元技术。

5）高速车削加工工艺技术。

6）功能组件模块化设计技术。

7）动态性能研究与轻量化技术。

8）高速移动驱动技术。

9）可靠性技术。

2. 高速龙门五轴加工中心（*A*、*C* 摆角）

完成了五坐标横梁移动龙门加工中心样机 3 台，分别是 GMC2 500H/2×60（配国产数控系统和直线电动机）、GMC2 500H/2×60、GMC40 000/2。其中 2 台在用户单位得到应用。项目通过了国家科技重大专项办公室验收。

（1）产品特点

1）工作台固定、横梁高架移动的龙门结构。

2）加工效率高，切削进给速度达 20 000mm/min。

3）*X* 轴采用大推力直线电动机双边驱动。

4）*Y* 轴采用螺母旋转丝杠驱动。

5）*Z* 轴采用液压平衡技术。

6）*C* 轴采用直驱双摆铣头。

7）动态响应特性好，刚性好。

8）具有切削参数智能调整功能。

（2）技术突破

1）全面应用国产功能部件，直驱轴快速移动速度达 50m/min。

2）高速动态工况下的动态精度补偿技术。

3）扩展直线电动机推力输出范围的方法。

4）具有宽推力输出范围的直线电动机。

5）智能化冷却系统。

3. 14 轴 5 联动卧式铣车复合加工中心

完成了 14 轴 5 联动卧式铣车复合加工中心样机 KDW–4 200FH 的研制。样机在用户单位得到应用。项目通过了国家科技重大专项办公室验收。

（1）产品特点

1）箱中箱结构。

2）大跨度支撑的双驱设计。

3）重心驱动。

（2）技术突破

1）大负载重切削的高刚度设计技术。

2）重心驱动和双驱技术。

3）力矩电动机直驱技术。

4）整机热设计和热补偿技术。

4. 高速龙门五轴加工中心

完成了 5.5m×12m 高速龙门五轴加工中心样机，项目通过了国家科技重大专项办公室的验收。

技术突破

1）大型高速龙门铣床整机的开发和结构优化设计。

2）双电动机电气消隙驱动技术。

3）高速驱动技术的研究和应用。

4）五轴联动高速切削解决方案。

5. THM 系列精密卧式加工中心

完成了 THM46100 高精度卧式加工中心样机的研制。项目通过了验收，并在用户单位得到应用。

（1）产品特点

1）工作台尺寸为 1 000mm×1 000mm。

2）主轴转速为 10 ～ 5 000r/min。

3）*X*、*Y*、*Z* 轴行程分别为 1 600mm、1 200mm、1 200mm。

4）*B* 轴在 0° ～ 360° 连续任意分度。

5）X、Y、Z 轴定位精度为 0.004mm。

6）B 轴定位精度为 3″。

（2）技术突破

1）主轴结构进行优化设计。

2）关键零部件和整机结构进行动态优化设计。

3）主轴系统的刚度和稳定性技术。

4）主轴运行状态监测技术。

5）热误差补偿技术。

6）大型复杂零件的动态坐标建立与转换技术。

6. 精密卧式加工中心

完成了 4 种规格（工作台宽度为 500mm、630mm、800mm、1 000mm）精密卧式加工中心新产品的研制，并初步形成了产业化能力，产品在航空、船舶等行业得到了应用。

（1）产品特点

1）定位精度＜ 0.004mm。

2）重复定位精度＜ 0.002mm。

3）快移速度 48m/min。

（2）技术突破

1）完成精密主轴、精密转台等关键功能部件的研制。

2）攻克了热变形及其补偿技术。

3）伺服驱动优化。

4）整机数字化分析和优化。

5）可靠性技术等关键技术。

6）实现了国产数控系统配套应用。

7. 立式铣车复合加工中心

研制了 VMT80 和 VMT100 立式铣车复合加工中心样机各 1 台，并对 S 试件和用户的航空发动机机匣零件进行了切削加工。

（1）产品特点

1）集铣、车功能于一体。

2）适合于高精度、形状复杂零件的切削加工。

3）采用模块化设计。

4）采用国产数控系统和力矩电动机。

5）最大工件直径为 ϕ300mm。

6）最大工件宽度为 300mm。

7）最大工件长度为 2 000mm。

8）直线轴定位精度为 0.002mm。

9）表面粗糙度值为 R_a0.2μm。

（2）技术突破

1）快速进给系统研究应用。

2）摆头动力刀架研制。

3）双功能车铣转台研制。

4）可靠性和精度保持性提高。

5）热变形补偿研究应用。

6）机床动态性能分析研究应用。

7）铣车复合加工工艺研究应用。

8. 高精度柔性复合数控磨床

完成了具有高精度、柔性、复合加工特点的精密数控外圆磨床 1 台，并在北京中电科电子装备有限公司实现生产应用。项目通过了国家科技重大专项办公室验收。

产品特点

1）一次装夹实现多工序敏捷、柔性磨削加工。

2）复合磨削功能。

3）非圆磨削功能。

4）自动更换砂轮功能。

5）加工直径≥ ϕ320mm。

6）加工长度≥ 1000 mm。

7）磨削外圆圆度公差≤ 0.3μm。

8）外圆表面粗糙度值≤ R_a0.01μm。

9）磨削内圆圆度公差≤ 0.5μm。

10）专用的磨削控制软件包。

9. 大型直线滚动导轨精密曲面成形数控磨床

完成了 HZ-088CNC 大型直线滚动导轨精密曲面成形数控磨床。该机床磨削

工件宽度为 15~120mm，磨削工件长度为 3 000~6 000mm，砂轮线速度 >45m/s，磨削工件平行度公差≤ 0.003mm/3 000mm 及≤ 0.006mm/6 000mm，表面粗糙度值≤ R_a0.2μm，定位精度≤ 0.003mm，重复定位精度≤ 0.001 5mm。项目通过了国家科技重大专项办公室组织的鉴定。

技术突破

1）直线导轨及导轨滑块多磨头磨削组合装置。

2）长丝杠液压式柔性支撑装置。

3）基于声发射的精密曲面磨削在线智能监控技术。

4）基于监测热敏感点与变形敏感点的闭环综合动态误差补偿技术。

10. 精密拉刀数控成形磨床

完成了 2 台精密拉刀数控成形磨床 QMK008，其中一台采用进口功能部件，另一台采用部分国产功能部件。

（1）产品特点

1）最大工件直径为 ϕ300mm。

2）最大工件宽度为 300mm。

3）最大工件长度为 1 500mm。

4）砂轮线速度为 50m/s。

（2）技术突破

1）精密拉刀数控成形磨床总体结构布局和数字化设计技术。

2）高刚性主轴及砂轮库等关键零部件的结构设计。

3）磨床振动、热变形控制及补偿技术。

4）精密拉刀数控成形磨床可靠性设计技术和制造技术。

5）高精度成形磨削技术。

6）磨削数学模型和编程技术。

7）位置测量及轨迹误差补偿技术。

8）动态响应控制技术。

9）磨削参数和工艺优化技术。

10）成形砂轮设计及砂轮在线连续修整技术。

11）精密拉刀数控成形磨床试验、检测技术。

11. 高速精密大型数控圆柱齿轮磨齿机

研制了 YK73200 圆柱外齿轮（含内齿轮磨削功能）和 YK75200 圆柱内齿轮

两种数控成形砂轮磨齿机样机。项目通过了国家科技重大专项办公室验收。

（1）产品特点

1）最大加工工件直径为 ϕ2 500mm。

2）工件模数为 35mm（内齿轮 20mm）。

3）齿轮齿高为 80mm（内齿轮 50mm）。

4）加工精度达 4 级。

（2）技术突破

1）成形砂轮截形修形技术。

2）高速磨削技术。

3）机床热变形及其补偿技术。

4）精密、大规格蜗杆副及大型回转工作台制造技术。

5）精密、重载双蜗杆副消隙传动技术。

6）大型精密机床的静压导轨及静压轴承技术。

7）大功率直接驱动技术及内置动平衡技术。

8）磨齿机专用计算和编程软件。

9）机床在机测量技术。

10）大规格齿轮磨削工艺技术。

11）制造工艺技术以及相关试验、检测技术。

12）成形磨削专家系统。

12. 五轴联动叶片数控磨床

完成了五轴联动叶片数控磨床 QMK50A 的研制。项目通过了国家科技重大专项办公室的验收。

（1）产品特点

1）加工工件最大长度为 500mm。

2）最大宽度为 300mm。

3）主轴最高转速为 60 000r/min。

4）*X/Y* 轴定位精度≤ 0.005mm。

5）*X/Y* 轴重复定位精度≤ 0.002mm。

6）旋转轴定位精度≤ 10″。

7）旋转轴重复定位精度≤ 5″。

8）叶身加工精度＜ 0.03mm。

9）表面粗糙度值≤ R_a0.4μm。

（2）技术突破

1）复杂型面叶片的宽行加工编程方法。

2）一次装夹可实现对叶片的叶身、前后缘、叶根的磨削加工。

3）叶片表面质量缺陷的预防技术。

13. 高速、精密、大型数控锥齿轮磨齿机

完成了磨削直径为 ϕ2 500mm 的大型数控锥齿轮磨齿机 QMK009 的研制。项目通过了国家科技重大专项办公室的验收。

（1）产品特点

1）采用指状砂轮或小直径盘状砂轮，实现大型曲线齿锥齿轮的磨削。

2）可磨削格里森弧齿锥齿轮和直齿锥齿轮，还可磨削克林贝格延伸外摆线锥齿轮。

3）最大工件分度圆直径为 ϕ2 500mm。

4）最大端面模数为 50mm。

5）中点螺旋角 0° ~50° 。

6）最大齿宽为 500mm。

7）加工精度为 4 级（GB/T 11365—1989）。

（2）技术突破

1）数字产形轮展成磨削法原理创新。

2）大型、重载、精密回转工作台的研制。

3）直驱双摆动磨削砂轮主轴架的研制。

4）大型锥齿轮设计、粗精加工、测量、对检的系统化研制。

5）创新的机床结构。

14. 轴套类精密复合数控磨床

完成了轴套类精密复合数控磨床样机 H404-BE 的研制，并在用户单位得到应用。项目通过了国家科技重大专项办公室验收。

（1）产品特点

1）一次装夹完成零件外圆、内孔、端面、卡槽、锥面等部位磨削加工。

2）可实现各类非圆工件的磨削加工。

3）最大工件直径为 ϕ320mm。

4）最大工件长度为 1 000mm。

5）磨削外圆圆度公差≤ 0.4μm。

6）磨削内圆圆度公差≤ 0.5μm。

7）工件表面粗糙度值≤ R_a0.01μm。

（2）技术突破

1）精密复合数控磨床结构设计技术。

2）高精度砂轮自动更换技术。

3）高精度工件驱动主轴系统技术。

4）防止干涉和碰撞的仿真检测技术。

5）复合磨削工艺。

6）复合数控磨床的应用控制软件开发。

15. 纳米级精度微型数控磨床

研制了具有自主知识产权的 2MNKA9820 纳米级精度微型数控磨床。项目通过了国家科技重大专项办公室验收。

（1）产品特点

1）定位精度≤ 100nm。

2）重复定位精度≤ 50nm。

3）表面粗糙度值≤ R_a10nm。

4）加工工件非球曲面口径≤ ϕ10mm。

（2）技术突破

1）基于直线电动机与液体静压闭式导轨结合的超精密驱动与定位技术。

2）超精密气体静压回转轴系技术。

3）在线检测与误差补偿加工技术。

4）砂轮在机修整与在线电解修锐技术。

5）超硬合金及光学玻璃等材料的超精密磨削加工技术。

16. 难加工材料超高速精密外圆磨床

完成了 MGKS1332/H 难加工材料超高速精密外圆磨床的研制。项目通过了国家科技重大专项办公室验收。

（1）产品特点

1）可实现脆性材料、粘性材料、涂层材料的超高速磨削加工。

2）最大磨削直径为 ϕ320mm。

3）最大工件长度为 1 000mm。

4）砂轮最高线速度为 150m/s。

5）磨削尺寸精度为 0.005mm。

6）磨削工件圆度公差为 0.001mm。

7）表面粗糙度值≤ R_a0.2μm。

（2）技术突破

1）高速、大功率、高刚度砂轮主轴技术。

2）机床的高刚度、高抗振能力技术。

3）超高速主轴磨头技术。

4）玻璃、陶瓷、钛合金等典型难加工材料的高速磨削技术。

5）不同难加工材料的砂轮磨损特性研究。

17. 大型数控切点跟踪曲轴磨床

成功研制了 MK8280/SD–H 大型数控切点跟踪曲轴磨床。机床磨削回转直径为 ϕ1 000mm，磨削长度为 5 000mm，砂轮线速度为 125m/s，磨削轴颈圆度公差≤ 0.010mm，圆柱度公差≤ 0.013mm，外圆表面粗糙度值≤ R_a0.32μm。

技术突破

1）大型曲轴切点跟踪数控磨床的总体设计方法与性能保证技术。

2）曲轴变速回转驱动磨削工艺方法。

3）高随动特性的砂轮架驱动系统设计。

4）磨削过程中的随动支撑技术。

5）曲轴尺寸、位置与变形量的在线检测与控制。

18. 超重型精密数控轧辊磨床

完成了 MKA84250/15000–H 超重型精密数控轧辊磨床的研制，项目成果在用户单位上海重型机器厂有限公司得到应用。项目通过了国家科技重大专项办公室验收。

（1）产品特点

1）最大磨削直径为 ϕ2 500mm。

2）最大工件长度为 15 000mm。

3）最大顶磨工件质量为 250t。

4）磨削圆度公差为 0.003mm。

5）纵截面内直径一致性为 0.003mm/m。

（2）技术突破

1）超重载荷工件驱动技术。

2）超重型轧辊顶磨工艺技术。

3）大型在线测量机构及数据处理技术。

4）高精度及高刚度砂轮主轴及微进给技术。

5）大型超精密轴承精化技术。

19. 大型数控单双动薄板冲压液压机

研制完成 20 000kN 数控单动薄板冲压液压机，形成系列化产品；完成 40 000kN/60 000kN 数控双动薄板拉伸液压机方案设计和工艺准备工作。研发了具有自主知识产权的大型薄板冲压液压机专用数控系统、大型模具参数数据库系统、全吨位冲裁装置，部分关键元器件国产化。项目通过了国家科技重大专项办公室验收。

（1）产品特点

1）压力控制精度为 ±0.01MPa。

2）滑块重复定位精度为 ±0.02mm。

3）滑块快进速度为 450mm/s。

4）回程速度为 400mm/s。

（2）技术突破

1）精密电液比例伺服控制技术。

2）液压垫四角调压控制技术。

3）专用开放式数控系统。

4）模具参数数据库。

5）快速换模技术。

6）全吨位冲裁缓冲技术。

20. 大型快速高效数控全自动冲压生产线

济南二机床集团有限公司研发的大型快速高效数控全自动冲压生产线是生产轿车大型覆盖件的关键设备。在数控机床专项支持下，济南二机床集团突破了大型多工位压力机、全自动快速冲压生产线、大型伺服压力机等一系列当今国际先进冲压技术，与世界先进水平全面接轨，在几年时间内分别研制成功生产节拍为 12 件 /min 和 15 件 /min 的全自动快速冲压生产线，实现轿车大型覆盖件的柔性、

高效、智能化生产。

2011 年 4 月和 11 月，济南二机床集团在与世界一流企业的国际竞标中，一举囊括福特汽车美国两个工厂全部五条大型快速智能冲压生产线订货合同，标志着拥有完全自主知识产权的国产冲压装备技术水平与国际竞争力均实现重大突破。这些大型快速冲压线均应用了多连杆、数控液压拉伸垫、同步控制、全自动换模、整线防护等多项通过实施专项课题所突破的关键技术，生产节拍 15 件 / min，全自动换模时间 3min，是济南二机床集团在实施国家重大专项基础上的进一步提升，具有智能化特点，代表了目前世界最先进的技术水平，创造了我国高档数控机床首次出口至欧美汽车主机制造厂的成功案例。

技术特点

1）生产节拍可达 15 件 /min。

2）连续运行模式。

3）整线同步控制技术和快速自动换模技术。

4）全自动换模时间仅为 3min。

5）全封闭安全防护。

6）噪声低于 80dB。

7）设计、制造过程全面执行欧洲标准。

21. 数控大型多工位压力机

研制了 25 000kN 大型多工位压力机，开发了送料系统。自主研发了伺服送料控制系统，压力机与伺服送料同步控制集成。

技术突破

1）压力机多连杆参数化设计技术。

2）抗偏载高强度齿轮传动机构设计技术。

3）三坐标伺服送料系统。

4）伺服送料与压力机同步控制技术。

5）送料过程故障监测技术。

22. 6 000kN 数控肋骨冷弯成形机

研制了 6 000kN 数控肋骨冷弯成形机。该产品应用广泛，是舰船、桥梁、高铁等行业高精度型材弯制、校平、校直的关键设备。

技术突破

1）机械手式变支点进料弯曲机构、自动垂向预弯机构、型材冷弯模具。

2）变步长自适应控制模型，自动确定进料长度、支点间距、垂向预弯量、回弹量。

3）大量程、高精度的实时检测系统。

4）自动号料装置。

5）型材加工数字化集成制造系统。

23. 30 000 ～ 65 000kN 全闭环高精度伺服折弯机

研制了 30 000kN×14m 全闭环高精度伺服折弯机。该产品具有高精度、高可靠、高智能和高效率等特点，满足了高强度板材零部件高精度折弯成形的要求。项目通过了国家科技重大专项办公室组织的鉴定。

技术突破

1）基于线结构光的全长激光在线检测系统。

2）折弯点及回弹角度数据库。

3）多点智能补偿系统。

4）重载型内力平衡式自动变距下模及上模快速更换系统。

5）高强度板材折弯成形工艺模型以及折弯成形工艺软件。

24. 自动穿丝、精密、高效、数控单向走丝电火花线切割机床

研制了具有自动穿丝功能的低速走丝数控线切割机 DK7632B（LSQ1），现定型为 LA500。该产品已在用户单位得到应用。项目通过了国家科技重大专项办公室的验收。

（1）产品特点

1）加工表面质量高。

2）运动轴全闭环控制。

3）自动穿丝。

4）拐角控制。

5）图形化专用控制系统软件。

（2）技术突破

1）自动穿丝技术。

2）低能耗脉冲电源技术。

3）高表面质量加工技术。

4）高效率加工技术。

5）高精密加工技术。

6）自适应、自反馈、智能控制、五轴四联动数控系统。

7）学习型智能工艺数据库。

25. 光纤总线开放式全数字高档数控系统

研制了新一代光纤总线开放式高档数控系统 GNC60 系列化产品。产品在用户单位得到实际应用。项目通过了国家科技重大专项办公室验收。

（1）产品特点

1）控制能力：8 通道；每通道 5 轴联动，最多 16 坐标；每坐标最多支持 4 个伺服电动机同步驱动。

2）控制分辨为：0.001μm。

3）控制速度：240m/min。

4）五轴控制：支持 RTCP、斜面加工、空间刀具半径补偿。

5）总线接口：GLINK2.0，CANOpen。

6）插补方式：直线、圆弧、极坐标、NURBS、离散点拟合。

（2）技术突破

1）现场总线技术。

2）开放式数控系统软件体系结构。

3）数控系统运动控制系列关键算法。

4）数控系统补偿技术。

5）工件测量技术和刀具测量技术。

26. 开放式全数字高档数控系统

研制了高性能、高性价比的新一代全数字总线式华中 8 型高档数控系统。该系统可跨平台移植、裁剪，深度二次开发，形成高、中、低档产品。针对中档、标准型数控机床市场的 HNC-818 已经进入批量生产和推广阶段。

（1）产品特点

1）基于多处理器的开放式软硬件体系结构。

2）自主创新的总线技术。

3）硬件跨平台、软件可置换、系统多层次开放功能。

4）有多通道、多轴联动、高速高精加工能力。

5）适应于数控车床、数控铣床、车削中心、立式 / 卧式加工中心、车铣复合机床、五轴龙门机床等大型、重型、高速、精密数控机床及各种专用加工设备。

（2）技术突破

1）现场总线技术。

2）智能化技术。

3）加工工艺技术集成。

27. 直驱式高速高精度双摆角数控万能铣头

完成了 VM 系列直驱式单摆铣头和 GM 系列直驱式双摆铣头样机的研制。*B* 轴回转范围为 ±120°，最高转速为 60r/min，额定转矩为 1 500N · m，最大转矩为 2 000N · m，夹紧转矩为 4 000N · m，定位精度为 ± 0.001°（高精），主轴额定功率为 19kW，最大功率为 28.8kW，额定转速为 2 100r/min，最高转速为 12 000r/min（高速），额定转矩为 87N · m，最大转矩为 130N · m。样机在用户单位得到应用。项目通过了国家科技重大专项办公室验收。

（1）产品特点

1）力矩电动机直接驱动。

2）结构紧凑。

3）输出转矩大。

4）精度高。

（2）技术突破

1）双摆铣头的结构设计与优化分析。

2）双摆铣头的驱动和控制系统的优化设计。

3）双摆铣头的制造与装配技术。

4）双摆铣头的在五轴龙门加工中心中的应用技术。

5）双摆铣头的精度检测与补偿技术。

28. 双摆角数控万能铣头

完成了双摆角数控万能铣头样机的研制。项目通过了国家科技重大专项办公室验收。

技术突破

1）大转矩进给系统中的无间隙机械传动技术。

2）力 / 热动态误差补偿技术。

3）*A*/*C* 轴电气安全保证和液 / 气防漏技术。

4）*A*/*C* 轴液压制动技术。

5）位置精度的控制与检测技术。

6）卸荷式松刀装置。

29. Y 轴全功能数控动力刀架

研制了带 Y 轴的全功能数控动力刀架，应用了多学科协同仿真分析和优化技术，对刀架的结构和尺寸进行了优化。采用带位置检测的液压离合器结构，可适用多种形式的动力刀座。采用液压分度马达驱动，大口径液压缸夹紧，大直径三端齿精定位，结构简单可靠，夹紧力刚性强。

技术突破

1）传动链中高精度、小厚度、薄轮缘齿圈及小厚度大直径薄壁轴承的设计制造技术。

2）带位置检测的小型大转矩液压离合器的设计、制造技术。

3）高精度多级齿轮传动中的噪声控制技术。

4）刀架热特性分析技术。

产品已配套于安阳鑫盛机床股份有限公司 ADG35M 型切削中心，实现了四轴联动车铣复合加工，自投产以来未发生任何故障，用户评价良好。

30. 航空、能源、汽车、船舶用高效、高性能、精密复杂数控切削刀具

结合高效高性能精密复杂数控刀具的特点，自主研发了刀具模拟设计软件、数控砂轮修整技术及设备、刀具制造专用数控设备，研制了 17 种高效高性能精密复杂数控刀具，掌握了刀具设计与制造、热处理、表面涂层及数控专机的研制等相关关键技术，实现了产品批量供货，并在航空、能源、汽车、船舶等制造领域得到应用。

技术突破

1）刀具设计与制造技术。

2）材料热处理技术。

3）表面涂层技术。

31. 高速数控机床用高精度、智能化新型工具系统

开发了高速数控机床用新型工具系统（包括热缩夹头和 HSK 工具系统）系列产品，基本掌握相关核心技术及批量制造技术，并在国产数控机床上得到批量应用。项目通过了国家科技重大专项办公室验收。

（1）产品特点

1）高可靠性和高精度稳定性。

2）径向定位精度≤ 0.003mm。

3）轴向圆跳动公差≤ 0.002mm。

4）刀柄动平衡精度 G2.5。

5）锥度公差 AT3。

6）具有智能化识别功能。

（2）技术突破

1）热缩夹头温度场数学模型。

2）热缩夹头国产材料在热处理微变形的控制技术。

3）热缩夹头环保型真空热处理工艺及表面处理工艺。

4）热缩刀柄批量制造工艺和检测技术。

5）HSK 工具系统柄部专有一次成形加工技术。

6）HSK 工具系统柄部低温催渗技术。

7）HSK 工具系统柄部高精度数控磨削及在线测量技术。

8）HSK 工具系统批量制造工艺和检测技术。

9）数控刀具、数控工具系统 RFID 自动识别管理系统软件。

32. 高性能激光测量系统

研制了纳米分辨率的激光干涉仪、360° 激光干涉测角系统、基于激光差动干涉的圆轨迹测量系统。项目通过了国家科技重大专项办公室组织的鉴定。产品主要用于检测数控机床的轴线位置误差、动态位置误差、回转位置误差、圆轨迹误差，已实现了 20 多台套的销售。

技术突破

1）双纵模稳频激光输出的控制方法。

2）高增益、宽频带直流放大器和纳米分辨率技术。

3）端齿盘结构设计。

4）基于激光差动干涉的圆轨迹测量系统原理及装置。

5）现场补偿仪器常数和初始零位误差的算法。

7.2.2 成果应用

“高档数控机床与基础制造技术”科技重大专项取得了一系列重大成果，并

得到初步应用，为我国国民经济和国防工业建设做出了重要贡献。

以下是在我国航空航天、发电设备、汽车、船舶制造领域，国产高档数控机床应用于加工航空发动机叶片、船用柴油机曲轴、汽车覆盖件、汽轮机叶片及国产配套件的 23 个实例，展示了我国机床行业在高档数控机床、高档数控系统、数控机床功能部件、现代刀具方面所取得的各项成果，促进国产高档数控机床的推广应用。

1. 专项成果在航空航天领域的应用

1）四川普什宁江机床有限公司生产的 THM63100IV 精密卧式五轴加工中心在四川成发航空科技股份有限公司得到应用，如图 7–1 所示。

图 7–1　THM63100IV 精密卧式五轴加工中心的应用

2）四川长征机床集团有限公司生产的高速龙门五轴加工中心（*A*/*C* 摆角）GMC2500H/2×60（配国产数控系统和直线电动机）在陕西飞机工业（集团）有限公司得到应用，如图 7–2 所示。

3）北京市电加工研究所的用于特种材料复杂型面加工的 AA50、N850 五轴五联动精密数控电火花成形机床在首都航天机械公司、云南西仪工业股份有限公司供应部、东莞康佳模具塑胶有限公司、哈尔滨工业大学复合材料与结构研究所、中国石油大学机械与储运工程学院、沈阳黎明航空发动机（集团）有限责任公司机匣加工厂等得到应用。

图 7–2　GMC2500H/2×60 高速龙门五轴加工中心（*A/C* 摆角）的应用

2. 专项成果在发电设备制造领域的应用

北京北一数控机床有限责任公司生产的数控重型桥式龙门五轴联动车铣复合机床系列 XKA28105 重型数控桥式动梁龙门复合铣床、XKAV2780 龙门移动式数控五轴镗铣床、XKAU2890 数控桥式双龙门镗铣床等在中信重工机械股份公司、哈尔滨汽轮机厂有限责任公司得到应用，如图 7–3 所示。

图 7–3　数控重型桥式龙门五轴联动车铣复合机床的应用

3. 专项成果在汽车制造领域的应用

1）济南二机床集团有限公司生产的 25 000kN 数控大型多工位压力机在沈阳捷众汽车零部件有限公司、山东捷众汽车零部件有限公司、奇瑞汽车股份有限公司等企业得到应用，如图 7–4 所示。

图 7–4　数控大型多工位压力机的应用

2）济南二机床集团有限公司的大型、快速、高效、数控、全自动冲压生产线在上海通用东岳汽车有限公司得到应用，如图 7–5 所示。

图 7–5　大型、快速、高效、数控、全自动冲压生产线的应用

3）宝鸡忠诚机床股份有限公司的 CK7516GS（CH7516GS）高速数控车床（车削中心）在烟台海德汽车零部件有限责任公司、秦川机床工具集团有限公司秦川机械加工二厂得到应用，如图 7–6 所示。

图 7–6　高速数控车床 CK7516GS 的应用

4. 专项成果在船舶制造领域的应用

1）齐重数控装备股份有限公司生产的用于港口和船用大型零件加工的超重型数控卧式镗车床在上海振华重工（集团）得到应用，如图 7–7 所示。

图 7–7　加工港口和船用大型零件的超重型数控卧式镗车床的应用

2）齐重数控装备股份有限公司生产的 2×CWT100×120L–MC 数控重型曲轴铣车复合加工机床及 CWT130×145/180L–MC 数控重型曲轴旋风切削加工中心在武汉重型铸锻有限责任公司海西重工有限公司得到应用，如图 7–8 所示。

图 7–8　数控重型曲轴铣车复合加工机床的应用

5. 专项成果刀具及功能部件的应用

1）汉江工具有限责任公司生产的高效、重载双切滚刀在浙江中马机械制造有限责任公司、陕西法士特齿轮有限责任公司、中国第一汽车集团公司、天合富奥商用车转向器（长春）有限公司、上海汽车股份有限公司汽车齿轮总厂等企业得到应用，如图 7–9 所示。

图 7–9　高效、重载双切滚刀的应用

2）株洲钻石切削刀具股份有限公司制造的超细晶粒整体硬质合金涂层 PM/HM 系列专用刀具在奇瑞汽车股份有限公司、神龙汽车有限公司得到应用，如图 7–10 所示。

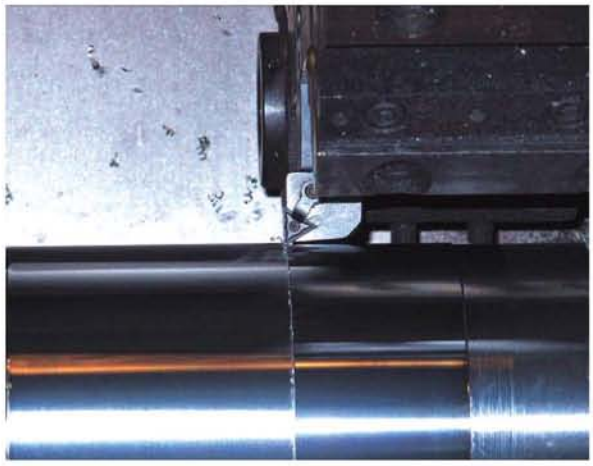


图 7–10　超细晶粒整体硬质合金涂层 PM/HM 系列专用刀具的应用

3）大连光洋科技工程有限公司生产的直驱式高速、高精度单（双）摆角数控万能铣头在四川长征机床集团有限公司、大连科德数控有限公司得到应用，如图 7–11 所示。

图 7–11　直驱式高速、高精度单（双）摆角数控万能铣头的应用

4）武汉华中数控股份有限公司开发的 HNC-818 开放式全数字高档数控系统配套应用于昆明机床公司 THM65160 精密卧式加工中心（见图 7-12），大连机床集团 DLH-20 高速车削中心、HDM50 精密卧式加工中心、VDBS65 高速立式加工中心、VDM55 高速立式加工中心、VHT1000 立式铣车复合加工中心，南通科技投资公司 VMCL600 四轴联动加工中心，武汉机床厂五轴联动数控工具磨床，福建省威诺数控有限公司 M5V-320 五轴加工中心等。

图 7-12　HNC-818 开放式全数字高档数控系统的应用

5）广州数控设备有限公司开发的 GSK27 系列高档数控系统在上海航天设备制造总厂、上海拓璞数控科技有限公司、沈阳中捷钻镗床厂、北京机电院高技术股份公司、鲁南机床厂、天津天工伟业数控机床有限公司、沈阳巨浪特种机床科技有限公司、永盛模具加工厂、福建泉州伊士曼数控机械有限公司、珠海怡信测量科技有限公司等得到应用，如图 7-13 所示。

图 7-13　GSK27 系列高档数控系统的应用

6）哈尔滨量具刃具集团有限责任公司的 HSK 高速数控机床用高精度、智能化新型工具系统和热缩夹头刀柄在北京工研精机股份有限公司、四川普什宁江机床有限公司、沈阳机床（集团）有限责任公司、株洲钻石切削刀具股份有限公司、宜昌船舶柴油机有限公司、东风日产汽车有限公司广州工厂等得到应用，如图 7–14 所示。

图 7–14　HSK 高速数控机床用高精度、智能化新型工具系统的应用

7）南京工艺装备制造有限公司的高速、重载、精密滚珠丝杠及直线导轨在四川长征机床集团有限公司、沈阳机床集团中捷立加事业部得到应用，如图 7–15 所示。

图 7–15　高速、重载、精密滚珠丝杠及直线导轨的应用

6. 专项成果在国民经济其他领域的应用

1）杭州机床集团有限公司生产的 HZ-088CNC 大型直线滚动导轨精密曲面成形数控磨床在山东博特精工股份有限公司得到应用，如图 7-16 所示。

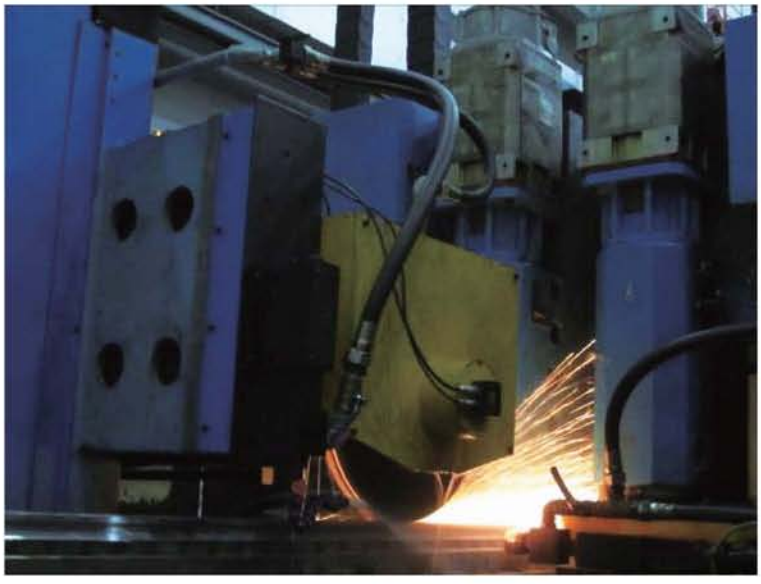


图 7-16　HZ-088CNC 大型直线滚动导轨精密曲面成形数控磨床的应用

2）青海一机数控机床有限责任公司生产的 HMC100S 高速立式、卧式加工中心在南通爱尔思轻合金精密成型有限公司得到应用，图 7-17 所示为卧式加工中心。

图 7-17　HMC100S 高速卧式加工中心的应用

3）上海机床厂有限公司生产的 MKA84250/15000–H 超重型精密数控轧辊磨床在上海重型机器厂有限公司得到应用，如图 7–18 所示。

图 7–18　MKA84250/15000–H 超重型精密数控轧辊磨床的应用

4）苏州三光科技股份有限公司生产的 DK7632B（LSQ1）自动穿丝、精密、高效、低速走丝数控线切割机床在国营九三九厂、苏州永创金属科技有限公司、苏州华士安精密机电有限公司等得到应用，如图 7–19 所示。

图 7–19　DK7632B（LSQ1）数控线切割机床的应用

5）成都工具研究所有限公司开发的高性能激光测量系统在沈阳机床集团得到应用，如图 7–20 所示。

图 7–20　高性能激光测量系统的应用

6）大连光洋科技工程有限公司的 GNC60 光纤总线开放式高档数控系统在北京工研精机股份有限公司、中捷机床有限公司、四川长征机床集团有限公司、北京航空制造工程研究所、大连科德数控有限公司等得到应用，如图 7–21 所示。

图 7–21　GNC60 光纤总线开放式高档数控系统的应用

7）上海交通大学开发的五轴数控机床多误差实时动态综合补偿技术在沈阳机床集团、上海重型机床厂、日发精机等公司的机床上得到应用，如图 7–22 所示。

图 7–22　五轴数控机床多误差实时动态综合补偿技术的应用

注：本章内容由工业和信息化部国家科技重大专项办公室提供。

第4篇

我国数控机床产业发展战略及路线图

第 8 章　我国数控机床产业政策分析及发展战略思考

8.1　科技支撑计划

《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》（以下简称《规划纲要》）提出：围绕国家目标，进一步突出重点，筛选出若干重大战略产品、关键共性技术或重大工程作为重大专项，充分发挥社会主义制度集中力量办大事的优势和市场机制的作用，力争取得突破，努力实现以科技发展的局部跃升带动生产力的跨越发展，并填补国家战略空白。

国家科技支撑计划（以下简称“支撑计划”）是为贯彻落实《规划纲要》，主要面向国民经济和社会发展需求，重点解决经济社会发展中的重大科技问题，集成全国优势科技资源进行统筹部署，为国民经济和社会发展提供有效支撑，在原国家科技攻关计划的基础上制定的。支撑计划是国家科技计划体系的重要组成部分。

支撑计划的组织实施单位包括科技部、项目组织单位、课题承担单位。专家及科技服务机构接受委托，参与有关咨询或服务工作。

科技部对支撑计划实施的总体效果负责，其主要职责是：负责支撑计划的总体设计和发展战略研究，制定支撑计划发展纲要；制定有关管理办法；建立备选项目库，审定项目立项建议，择优确定项目组织单位，组织项目可行性论证，批复立项；编制年度计划；指导并督促支撑计划的实施，组织项目中期评估，协调并处理项目执行中的重大问题；组织项目评估验收和绩效考评；汇总登记项目产生的科技成果，按规定加强管理。

项目组织单位为国务院有关部门（单位）、有关地方科技厅（委、局）和其他具备组织协调能力的单位，对项目目标的完成及实施效果负责，其主要职责是：按要求组织编制项目可行性研究报告；负责项目的任务分解，组织课题招投标及评估评审，择优确定课题承担单位和项目最终技术或产品集成的负责单位，

签订课题任务书；落实项目约定支付的匹配经费及其他配套条件；组织项目及课题的实施，监督、检查课题的执行情况和经费使用情况，按要求汇总、报告项目年度执行情况及有关信息报表，协调并处理项目、课题执行过程中出现的有关问题；组织课题验收，对课题进行绩效考评，按要求准备项目验收的有关文件资料，并提出项目验收申请；按要求进行成果登记并对项目所形成的成果资料（包括技术报告、论文、数据、评价报告等）进行归档，推动支撑计划成果的知识产权保护和应用、转化，按照有关政策法规加强管理，保护各方权益。

课题承担单位为具有较强科研能力和条件、运行管理规范、具有独立法人资格的内资或内资控股企业、科研院所、高等院校等。主要职责是：对课题任务的完成及实施效果负责；按要求编写课题可行性研究报告和课题任务书；按照签订的课题任务书所确定的各项任务，组织研究队伍，落实配套条件，完成课题预定的目标。相关课题承担单位负责按课题任务书要求对最终技术或产品集成；按规定管理课题经费；按要求编报课题年度执行情况和有关信息报表，及时报告课题执行中出现的重大问题，提交课题验收的全部文件资料；在课题实施前与各参与单位签订协议，明确课题执行中产生的知识产权及成果转化权属，按照有关政策法规，保护各方权益。

建立支撑计划专家委员会，充分发挥技术、经济、管理、财务、法律、企业等各方面战略专家的作用，对支撑计划宏观战略及发展的重大事项和决策提供战略咨询。参与支撑计划的项目立项、监督验收、经费预算和绩效考评等有关评估咨询工作的专家信息，保存在国家科技计划专家库中，可以采取随机抽取的方式，聘请具有良好信誉专家对评估咨询结果的公正性、科学性负责。

科技服务机构接受委托开展专利查新、招投标、评估、过程管理等工作，对服务质量及工作结果的公正性负责。从事评估、招投标等活动的科技服务机构，须按照《科技评估、科技项目招标投标工作资格认定暂行办法》进行资格认定。

“十一五”支撑计划强调支撑作用，主要落实《规划纲要》重点领域及其优先主题。重点在能源、资源、环境、农业、制造业、材料、交通运输业、信息产业与现代服务业、人口与健康、城镇化与城市发展、公共安全共 11 个领域进行部署，着重支持四个方面的研发：能源、资源、环境领域的关键技术；农业技术全面升级，持续提高农业综合生产能力；攻克一批重点产业关键技术，提升产业核心竞争力；攻克一批重要的社会公益技术，为构建和谐社会提供技术支撑。“高档数控机床与基础制造技术”是《规划纲要》确定的 16 个科技重大专项之一。

8.2 国家重大科技专项

8.2.1 重大专项概况

2006年2月13日，国务院就已经发布了《国务院关于加快振兴装备制造业的若干意见》，将发展高档数控机床和基础制造技术作为16个重点之一。

2008年12月24日，国务院审议并通过了“高档数控机床与基础制造技术”重大专项的实施方案。国家科技部、国家发展和改革委员会、国家财政部于2009年1月25日正式批复，该方案进入实施阶段。

2009年3月起国家科技重大专项实施管理办公室陆续发布了多次该项目（课题）指南。

“数控机床重大专项”确定重点任务有主机、数控系统、功能部件和关键部件、共性技术、创新平台建设、技术服务基地建设及应用示范工程七个方面。

主机重点开发高速精密复合数控金属切削机床（18种）、重型数控金属切削机床（7种）、数控特种加工机床（4种）、大型数控成形冲压设备（11种）、重型锻压设备（4种）、清洁高效铸造设备（4种）、新型焊接设备与自动化生产设备（5种）、大型清洁热处理与表面处理设备（4种）八类57种产品。57种主机产品中，33种为国外对我国禁运的产品，其他24种产品为可以出口，但绝大多数需要跟踪核查。

数控系统重点开发高档数控装置（3种）、电机及驱动装置（4种）。

功能部件及关键部件重点开发数控机床功能部件（6种）、数字化工具系统及量仪（6种）、关键部件（5件）。

共性技术重点研究12项。

创新平台建设中有新建国家工程研究中心和国家工程实验室6项、国家重点实验室4项、国家工程技术研究中心3项、国家质量检测中心1项以及国家认定企业技术中心30家。

在重点骨干企业和有条件的高校中建设10个技术服务基地。

应用示范工程主要通过与用户的结合，制造方与用户列入应用示范工程，重点支持用户，解决国产设备首台套应用和推广难的问题。

专项确立的目标是，到2020年航空航天、船舶、汽车和发电设备制造所需要的高档数控机床与基础制造装备80%以上立足国内。专项重点任务项目所列技术指标体现了先进性和实用性的结合，技术参数总体达到了国际先进水平，部

分指标国际领先。

图 8–1 所示为“数控机床重大专项”重点任务关系图。

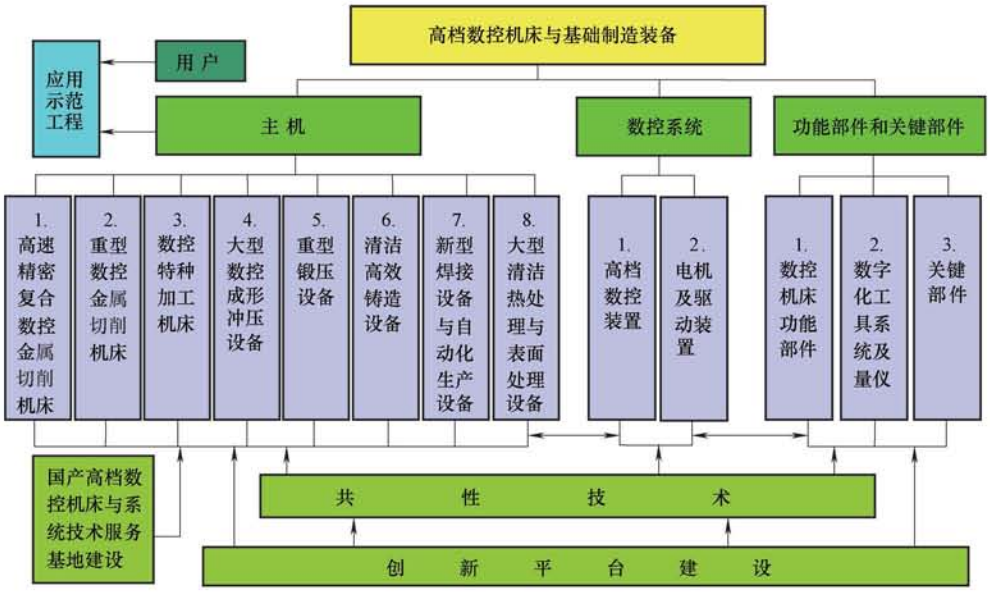


图 8–1 “数控机床重大专项”重点任务关系图

为了实现“数控机床重大专项”的目标，逐步提高我国高档数控机床与基础制造技术的自主开发能力，满足国内主要行业对制造装备的基本需求，按照“数控机床重大专项”的要求，2009—2012 年共部署了专项课题 407 项，其中高档数控机床与基础制造装备主机 180 项，数控系统 31 项，功能部件与关键部件 82 项，共性技术 80 项，应用示范工程 13 项，创新能力平台建设 17 项，用户工艺应用试验研究 4 项。

“十一五”期间，数控机床专项已经启动 17 个项目、154 个专题，共 268 项课题；2009 年立项 194 项课题，2010 年立项 74 项课题。其中，127 项属于高档数控机床与基础制造装备主机，占全部课题的 47%；20 项属于数控系统，占全部课题的 7%；45 项属于功能部件与关键部件，占全部课题的 17%；67 项属于共性技术，占全部课题的 25%。此外，还有 2 项属于应用示范工程，4 项属于用户工艺应用试验研究，3 项属于创新能力平台建设。企业牵头承担课题 194 项，占 72%；高等院校牵头承担 37 项，占 14%；转制科研院所牵头承担 31 项，占 12%；事业型研究单位牵头承担 6 项，占 2%。企业是数控机床专项的主要实施主体。

在第一～三批课题申报指南中，重点支持高档数控机床、基础制造装备、数控系统、功能部件、工具、关键部件、共性技术等方面的研究和开发。

第一批（2009 年 3 月）共列有 13 个项目、40 个课题，见表 8–1。

第二批（2009 年 3 月）共列有 11 个项目、24 个课题，见表 8–2。

第三批（2010 年 1 月）共列有 12 个项目、38 个课题，见表 8–3。

表 8–1　第一批“数控机床重大专项”项目（课题）

项目序号	项目名	课题序号	课题名
一	高速、精密、复合数控金属切削机床	1	高速立、卧式加工中心
		2	精密立、卧式加工中心
		3	五轴联动加工中心
		4	高速数控车床及车削中心
		5	卧式铣车（车铣）复合加工中心
		6	高速、精密、大型数控滚齿机
		7	高速、精密、大型数控磨齿机
		8	难加工材料轴类零件超高速精密外圆磨床
		9	精密、复合、数控磨床
二	重型数控金属切削机床	10	高速龙门五轴加工中心
三	大型数控成形冲压设备	11	大型数控单双动薄板冲压液压机
		12	10 000kN 精冲压力机
四	重型锻压设备	13	热等静压设备
五	清洁高效铸造设备	14	铸件砂型近净成形成套装备
六	新型焊接设备与自动化生产设备	15	焊接自动化成套设备
		16	大功率激光焊接设备
七	大型清洁热处理与表面处理设备	17	真空高温低压渗碳设备
八	高档数控装置	18	全数字高档数控装置

（续）

项目序号	项目名	课题序号	课题名
九	电机及驱动装置	19	全数字驱动装置及交流伺服电机、主轴电机
		20	大转矩力矩电机及驱动装置
		21	大推力直线电机及驱动装置
十	数控机床功能部件	22	双摆角数控万能铣头
		23	高速、重载、精密滚珠丝杠及直线导轨
十一	数字化工具系统及量仪	24	高速数控机床用新型工具系统
		25	高效可转位刀具系列及超硬工具
		26	超细晶粒整体硬质合金涂层刀具系列
		27	高效、高性能、精密、复杂、数控切削刀具
		28	高性能激光测量系统
十二	关键部件	29	新型焊接等工业机器人
		30	大型锻造操作机
		31	大型专用轴承
十三	共性技术	32	可靠性设计与性能试验技术
		33	动态综合补偿技术
		34	数字化设计技术
		35	高速磨削、切削工艺研究
		36	多轴联动加工技术
		37	大型铸、锻、焊件制造工艺
		38	热加工数值模拟
		39	自动检测与无损检测技术
		40	故障预警和诊断技术

表 8-2 第二批“数控机床重大专项”项目（课题）

项目序号	项目名	课题序号	课题名
一	高速、精密、复合数控金属切削机床	1	立式铣车（车铣）复合加工中心
		2	精密数控车床和车削中心
		3	数控切点跟踪曲轴磨床
		4	精密曲面成形数控磨床
		5	五轴联动叶片数控磨床
		6	纳米级精度微型数控磨床
		7	五轴联动高速、精密、数控工具磨床
		8	大型、精密、高效、数控螺纹加工设备
		9	高档数控珩磨机
二	数控特种加工机床	10	精密、高效、数控单向走丝电火花线切割机床
		11	五轴联动精密数控电火花成形加工机床
		12	数控激光切割机
三	大型数控成形冲压设备	13	粉末冶金液压机
		14	高速精密数控冲床
四	清洁高效铸造设备	15	3 500t 精密卧式压铸成套设备
		16	大型电渣熔铸设备
五	新型焊接设备与自动化生产设备	17	大型关键构件的摩擦焊设备
六	高档数控装置	18	基于国产 CPU 芯片的高档数控装置
七	电机及驱动装置	19	高速、高刚度大功率电主轴及驱动装置
八	数控机床功能部件	20	高速、精密数控回转工作台
		21	全功能数控动力刀架

（续）

项目序号	项目名	课题序号	课题名
九	数字化工具系统及量仪	22	高精度、全自动刀具预调仪系列
十	关键部件	23	大型精密模具
十一	共性技术	24	近净成形技术

表 8-3　第三批“数控机床重大专项”项目（课题）

项目序号	项目名	课题序号	课题名
一	高速、精密、复合数控金属切削机床	1	精密立、卧式加工中心
		2	立式铣车（车铣）复合加工中心
		3	加工钛合金复杂结构件的五轴联动加工中心
		4	精密数控车床及车削中心
		5	卧式铣车（车铣）复合加工中心
		6	精密数控内圆磨床
		7	纳米级精度微型数控磨床
		8	五轴联动高速、精密、数控工具磨床
		9	高速、精密、大型数控齿轮机床
		10	大型汽轮机叶片六轴联动数控砂带磨床
二	重型数控金属切削机床	11	高速龙门五轴联动加工中心
三	大型数控成形冲压设备	12	大型伺服压力机
		13	大型数控船用板（型）材成形成套装备
		14	大型数控辗环机
		15	精密旋转锻造机床

（续）

项目序号	项目名	课题序号	课题名
四	清洁高效铸造设备	16	3 500t 精密卧式压铸成套设备
五	新型焊接设备与自动化生产设备	17	大型关键构件的摩擦焊设备
		18	真空电子束焊接设备
		19	自动化装配和试验成套设备
六	大型清洁热处理与表面处理设备	20	变截面无缝钢管连续感应热处理成套设备
		21	高效涂装关键设备
七	功能部件	22	大型刀库及自动换刀装置
		23	高速、精密数控回转工作台
		24	立式伺服转塔刀架
		25	高速通孔液压动力卡盘
八	数字化工具系统及量仪	26	高速数控机床用新型工具系统
		27	高效可转位刀具系列及超硬刀具
		28	高效、高性能、精密复杂、数控切削刀具
		29	高速高效精密磨具
九	关键部件	30	高功率光纤激光器
十	共性技术	31	可靠性设计与性能试验技术
		32	多轴联动加工技术
		33	近净成形技术
		34	自动检测与无损检测技术

（续）

项目序号	项目名	课题序号	课题名
十一	用户工艺应用试验研究	35	航空大型结构件高效加工工艺应用试验研究
		36	高温合金叶片叶轮加工工艺应用试验研究
		37	复合材料自动铺带工艺应用试验研究
		38	电渣熔铸应用工艺研究
十二	创新能力平台建设		

为逐步提高我国高端装备制造业的自主开发能力，满足国内重点行业对制造装备的基本需求，在数控机床专项“十二五”实施计划框架下，2011 年 4 月发布了《数控机床专项 2012 年度课题申报指南》，遵循以下原则：

1）结合“十一五”任务安排的完成情况和主机配套需求，重点安排数控系统及伺服驱动单元、功能部件、精密高效工具的关键技术研究与产品开发，提升可靠性水平，推进应用和产业化进程，提升为主机的配套能力。

2）针对量大面广的高档数控机床，突破主机、数控系统、功能部件的核心技术，紧密结合主机的需求，加强关键技术和基础制造工艺研究，提升整体技术水平。

3）继续围绕航空航天、汽车、船舶、发电设备等领域对高端制造装备的需求，重点安排一批关键设备及基础工艺研发；对成套装备生产线及应用示范工程，按照重点用户的工艺需求，结合并集成“十一五”研究取得的阶段性成果，系统安排主机、数控系统及功能部件配套、工艺及共性技术的研究与应用，提升工艺成套能力。

4）针对专项“十一五”期间安排的高速 / 精密加工中心和数控车床等量大面广的数控机床，集成专项前期开发取得的阶段性成果，重点推进在主机生产企业的批量应用以及对用户的示范应用。对共性技术、功能部件和主机等任务安排上，要保持专项研究内容的继承性，强化可靠性，在点上突破的基础上形成“线”的系统性突破。

第四批（2011 年 4 月），共列有 13 个项目、55 个课题，见表 8–4。

表 8–4　第四批“数控机床重大专项”项目（课题）

项目序号	项目名	课题序号	课题名
一	高档数控系统	1	标准型数控系统产业化技术开发与规模化推广应用
		2	专用数控系统开发与应用
		3	高精度、高分辨率绝对式光电编码器研制
		4	伺服驱动及电机测试规范、标准与测试平台
二	功能部件	5	高速刀库及自动换刀装置关键技术与装置开发
		6	高精度动力卡盘及回转油缸系列化产品
		7	高效精密静压 / 动静压功能部件
		8	刀库换刀机构弧面凸轮加工工艺及专用装备
		9	直线滚动部件中频感应淬火热处理设备
三	数字化工具系统及量仪	10	高性能刀具涂层技术与装备开发
		11	航空航天钛合金整体复杂结构零件加工的系列化刀具
		12	复合材料系列化刀具开发
		13	汽车发动机配套刀具开发
		14	航空发动机关键零件高效精密磨削砂轮
		15	轿车动力总成关键零件高效精密磨削成套砂轮
		16	激光多维测量系统
		17	精密砂轮数控修整技术与装置
		18	高效精密数控刀具高可靠性设计制造与切削性能评价
		19	高强轻质零件高速切削技术研究

（续）

项目序号	项目名	课题序号	课题名
四	关键部件	20	高速精密数控机床轴承系列产品及产业化技术
		21	高压大排量轴向、径向柱塞变量泵及大流量二通插装阀系列化研制
五	重型数控金属切削机床	22	七轴五联动数控龙门式螺旋桨镗铣床
		23	系列化大型数控落地铣镗床
		24	重型铣车复合加工中心
		25	大型钻镗复合机床
		26	重载深孔螺旋曲面数控拉床
		27	AP1000 主管道数控镗铣复合加工机床
六	大型数控成形冲压设备	28	3 000kN 宽台面超精密高速压力机
		29	多工位温锻压力机及成套技术
		30	高速精密冷锻成形设备
七	重型锻压设备	31	航空万吨级铝合金板张力拉伸机
八	清洁高效铸造设备	32	大型数字化无模铸造精密成形关键技术及装备
		33	燃气轮机定向凝固叶片型壳型芯制备技术及成套装备
九	新型焊接设备与自动化生产设备	34	铝合金关键结构摩擦点焊装备
		35	汽车用板件激光拼焊生产线
十	重点领域成套装备及生产线	36	装配式凸轮轴成套技术与装备
		37	自动变速器制造成套装备
		38	车用涡轮增压器关键制造装备

（续）

项目序号	项目名	课题序号	课题名
十一	共性技术	39	高档数控机床床身精度保持技术研究
		40	高档数控机床滚动功能部件共性技术研究
		41	飞机结构件制造特征技术
		42	飞机复杂结构件快速数控编程系统
		43	数字化制造技术在车间级制造中的开发应用
		44	大型构件锻造成形技术研究
		45	镁合金复杂零件超高压热流变高效成形技术
		46	精密、复杂、微小型结构件多工艺复合加工关键技术
十二	应用示范工程	47	国产数控系统在机床生产企业的应用示范工程
		48	中高档数控机床滚动功能部件应用示范工程
		49	机床箱体类零件精密柔性生产线研发及应用示范工程
		50	机床精密轴类零件加工生产线应用示范工程
		51	国产机床在柴油发动机箱体类零件加工生产线上的示范应用工程
十三	创新能力平台建设	52	清洁热处理技术与装备创新能力平台建设
		53	先进成形制造全流程建模与仿真创新平台
		54	复杂数控刀具创新能力平台
		55	精密立卧式加工中心、齿轮机床产品技术创新平台

2011 年 7 月 4 日，科学技术部发布了《国家“十二五”科学和技术发展规划》，其中指出：实施国家科技重大专项是科技工作的重中之重。在“高档数控

机床与基础制造装备”领域（简称“数控机床重大专项”），重点攻克数控系统、功能部件的核心关键技术，增强我国高档数控机床和基础制造装备的自主创新能力，实现主机与数控系统、功能部件协同发展，重型、超重型装备与精细装备统筹部署，打造完整的产业链。根据航空航天、船舶、汽车、发电设备制造四大行业的急需，在众多高档数控机床与基础制造装备的产品门类中，筛选出一批行业急需且国外对我国禁运或有不同程度限制的产品，作为科技重大专项的重点任务。并随着四大行业的发展，适时补充四大行业急需的数控重大装备项目，进行滚动推行。

由上述四批“数控机床重大专项”立项支持的项目或课题知：“数控机床重大专项”不仅有主机，而且有关键功能部件、数控系统、刀具等；不仅有金属切削机床，还有铸、锻、压、焊接等机床和技术；不仅有单机，也有生产线；不仅有产品，也有关键共性技术、标准、应用示范工程、创新能力平台的建设；针对的重点行业有航空航天、汽车、船舶、发电设备等；不仅已经装备本身，还重点研究用户工艺。支持力度和广度都是前所未有的。

8.2.2 “数控机床重大专项”取得的成果

“十一五”期间，高档数控机床与基础制造装备重大专项围绕八类主机及相关数控系统、功能部件和关键部件等内容，掌握了一批核心技术，研发成功 10 余种我国经济建设急需的重点装备，满足了航空航天、船舶、汽车、发电设备制造等领域的部分需求，相关重点装备接近或达到国际先进技术水平，使我国高档数控机床与基础制造装备总体技术水平得到明显提高。

“高档数控机床与基础制造装备”专项高度重视知识产权工作，各个承担单位将获得自主知识产权作为主要追求目标。截至 2010 年 11 月，累计申请专利 1001 项，其中申请国内发明专利 654 项，国际发明专利 5 项。已完成立项标准 58 项，其中国家标准 12 项，参与 2 项国际标准的制定。在企业牵头的课题中，50% 以上制定了相关企业标准。超额完成“十一五”预定目标。

“十一五”以来，我国国产机床的数控化率和国内市场占有率均大幅提高。其中，国产机床数控化率由“十五”末的 35.5% 提高到“十一五”末的 51.9%，国内市场占有率由“十五”末的 26.4% 提高到“十一五”末的 56.7%。特别值得一提的是，专项实施在应对国际金融危机冲击中发挥了积极作用，增强了重点骨干企业的创新和竞争能力。“十一五”末，我国机床企业前 10 名销售收入之和已占到机床行业销售收入的 25% 左右。

从技术层面看，“高档数控机床与基础制造装备”重大专项实施以来，取得的成果主要体现在以下几个方面：

1. 重大装备研制取得突破，一批急需的重大装备通过验收并投入使用

围绕重点领域的急需，专项攻克了大跨度、超重型机床设计制造技术，超大型立式和卧式回转台设计制造技术，超宽、超长工件加工工艺等一批关键技术，开发出一批数控重型桥式龙门五轴联动车铣复合机床、大型快速高效数控全自动冲压生产线等具有国际先进水平的制造装备。

在专项研究成果基础上，济南二机床集团与福特汽车公司签订了 5 条用于美国本土新建工厂的全自动快速冲压生产线订货合同，创造了我国高档数控机床首次出口至欧美汽车主机制造厂的成功案例。3.6 万 t 黑色金属垂直挤压机、大型立式热处理炉等标志性设备已通过课题验收并投入使用。

2. 数控系统、功能部件及刀具研发成效显著，数控机床产业链日趋完整

通过与主机配套，成功研制出具有国际技术水平的五轴联动加工机床配套的数控系统；滚珠丝杠及直线导轨、数控回转工作台、双摆角数控万能铣头等功能部件也实现了关键技术的突破，并开始批量配套应用，使数控机床产业链日趋完整。在高档数控系统研发方面，由于掌握了先进的硬件设计和焊装技术，两种典型高档数控系统新产品 HNC848（包括应用国产 CPU 的系统）和 GNC60 的系统结构集成度高，结构紧凑，在系统硬件结构、集成度以及其他技术方面不低于国外主流数控系统。

同时开发了一批四大领域（航空航天、汽车、船舶、发电设备）急需的精密、复杂及硬质合金刀具，并在重点企业得到应用，部分替代了进口。

3. 共性技术成果初显，中高档数控机床性能有效提升

专项针对市场需求面广、进口量大的高速精密加工中心以及数控车床、五轴联动加工机床等产品进行开发，开展了可靠性、数字化设计、性能整体评价、动态补偿等关键共性技术攻关，有效提升了中高档数控机床的整体技术水平和市场占有率。研发完成了一批进口量大、市场需求面广的加工中心和数控车床，数控机床主机平均无故障时间 MTBF 已从“十一五”初期的 500 ～ 600h 提升到 900h 左右。

4. 积极开展用户示范应用，稳步推进创新能力平台建设

在航空大型结构件、汽车发动机、汽轮机叶片等领域安排了 6 项应用示范工程课题，促进了“十一五”已启动的单机、部件等阶段性成果的集成应用。“国产高档数控机床在典型飞机结构件加工中的示范应用”课题已完成 6 台示范应用机床的设计安装与调试，其中 5 台机床已经开始进行部分典型飞机结构件的加工应用。该课题还开展了基于“S”试件试切的机床加工精度测评理论研究，“S”试件已申请并获得国际专利，该项动态精度监测技术能快速有效地诊断现场零件的精度问题，缩短相关设备故障维修时间 30% 以上，下一步将在五轴联动加工机床制造领域推广应用。2012 年 9 月，“S”试件被纳入 ISO 10791–7 标准组作为附加测试件，成为国际标准测试件，为钛合金加工机床的推广迈出了关键一步。

在精密工具、高速 / 复合数控机床等重点方向上部署了 17 项创新能力平台建设课题，高校、科研院所与重点企业联合开展研究，使得创新能力平台已成为关键技术突破的主要技术来源。如“精密工具创新能力平台”，以国内刀具龙头企业为主体，联合国内优势研究单位及汽车、航空等重点领域的典型用户，充分利用国家、地方、行业已有科技资源，建立技术开发和管理运行水平国际先进的精密工具创新能力平台，使之成为精密工具研究开发的重要技术支撑和高端人才聚集基地。目前已向行业转移精密工具系统设计与制造共性技术 2 项，形成 HSK、CAPTO 等新国际标准刀柄产品 2 项，建立了涵盖车、铣、钻等主要加工和典型零件加工，同时集成行业主要的材料和关键零部件加工的切削数据库，已申请和授权专利 72 项。

几个典型成果如下：

1）科技重大专项“用于钛合金航空结构件加工的五轴联动加工中心”课题为优先启动课题，由沈阳机床（集团）有限责任公司、天津大学、成都飞机工业（集团）有限责任公司“产学研用”各方联合实施，通过对重切削稳定性分析、五轴机床动态特性分析和五轴加工中心后置处理的核心算法及后置平台开发等关键技术进行研究，研制出国内首台用于复杂钛合金航空结构件加工的五轴联动加工中心。其中，“S”试件切削工艺技术研究作为课题的一部分取得了重大突破。“S”试件加工需要克服很多难点，如“S”试件壁薄，刀轴向较深，开角闭角连续变化，频繁换向、表面质量要求高、检测点多、轮廓尺寸要求严格、棒铣刀侧刃加工等。同时，还要防止影响“S”试件加工的一些其他因素，如机床进给系

统伺服动态性的影响、A/B 轴双摆角铣头重力前倾的影响、整机与关键部件结构动态性的影响、主轴热误差的影响、机床切削刚度的影响、机床后置处理平台的影响等。该类机床的成功研制打破了国外同行对该领域制造企业的垄断，间接降低了国内进口此类机床的价格。

2）由北京第一机床厂研发的国内最大的 XKA28105×300 数控动梁桥式龙门五轴联动车铣复合机床（图 8–2），龙门最大通过宽度为 10.5m，最大加工高度达 7.5m，主轴功率为 105kW，主轴最大转矩为 9 500N·m，配有大功率、大转矩 A/C 轴机械式传动摆角铣头，可五坐标联动加工，配有直径为 9.5m 的车铣双速数控转台，承重 300t。掌握了三段式横梁组装、加工工艺等关键技术，主要性能指标达到国际先进、国内领先水平，该机床已用于第三代核电核心设备大型复杂零件的复合加工。

图 8–2　XKA28105×300 数控动梁桥式龙门五轴联动车铣复合机床

3）济南二机床集团有限公司为上海通用烟台东岳汽车和奇瑞汽车研发的 6 400t 大型快速高效数控全自动冲压生产线，可满足国内汽车企业大型冲压覆盖件的生产需求。2011 年 4 月和 11 月，济南二机床集团有限公司在与世界一流企业的竞标中，一举囊括福特汽车在美国两个工厂的全部五条大型快速智能冲压生产线订货合同。这是福特汽车近 20 年来首次采购非德国生产的成套冲压装备，也

是济南二机床集团有限公司赢得的当今国际最高水平的成套冲压装备订单，标志着拥有完全自主知识产权的国产冲压装备技术水平和国际竞争力均实现重大突破。该项目由济南二机床集团有限公司任总包商，实施交钥匙工程，刷新了机床企业单笔出口订单新纪录；是实施国家重大专项取得的最具代表性的成果。由济南二机床集团有限公司承担的两个国家重大专项课题“高速龙门五轴加工中心”和“双摆角数控万能铣头”是国内航空、航天、发电、冶金、铁路机车、船舶等重点行业领域急需的关键装备，通过承担“高速龙门五轴加工中心”重大专项，济南二机床突破多项关键技术，获得实用新型专利 3 项，申请国家发明专利 3 项，推动了高端市场的开发。双摆角数控万能铣头是五轴联动数控机床的核心功能部件。济南二机床集团有限公司研发的三种不同传动结构的双摆角数控万能铣头，分别用以实现高速高精切削或高效重型切削，可以满足不同行业的各种工艺需求，达到了世界先进水平。

4）武汉重型机床集团为二重研制的世界最大、承重 500t 的超重型数控卧式镗车床，突破了超重型高精度静压主轴技术等核心技术，机床主要技术性能指标达到国际先进水平，已交付用户使用，并完成了一件 110 万 kW 超临界核电半速转子的加工。

5）由上海机床厂有限公司承担并研发制造的国家科技重大专项课题之一，当今世界最大的可顶磨 250t 工件的“MKA84250/ 15000–H 超重型精密数控轧辊磨床”，通过用户上海重型机器厂有限公司的最终验收，其相关技术达到世界先进与国内领先水平。它的研制成功，标志着我国超重型精密数控轧辊磨床的研发制造步入了世界先进行列，也为类似机床替代进口，并使之国产化与产业化奠定重要基础。

6）合锻股份公司承担的国家科技重大专项课题——“大型数控单双动薄板冲压液压机”，代表国内最高技术水平的高档数控液压机产品，主要用于金属薄板件的冲压及拉伸工艺，广泛应用于汽车、石化、航空、航天、军工、工程机械、家用电器等国民经济发展中的重要领域。该课题攻克了精密电液比例伺服控制、液压垫四角调压控制、专用开放式数控系统、模具参数数据库、快速换模、全吨位冲裁缓冲等关键共性技术，形成多项自主知识产权核心技术，获实用新型专利 14 项，申请发明专利 6 项，制定 / 修订国家标准 1 项、行业标准 2 项。开发的 20 000kN 数控单动薄板冲压液压机获得 2010 年度国家重点新产品称号。累计向比亚迪汽车、江淮汽车、依维柯等国内外知名汽车商提供 20 000kN 大型数

控单动薄板冲压液压机 12 台套，实现产值超亿元。这一课题的成功开发及产业化，打破了德国舒勒、日本川崎等国外产品在重点行业领域的技术封锁和技术垄断，缩小了与国外的技术差距，为汽车行业由单一车型大批量生产向多车型小批量生产的过渡提供了适合的设备。

7）华中数控、广州数控等单位已开发出多轴多通道、总线式高档数控装置样机，在多轴联动插补算法、误差补偿等核心技术方面形成了自主知识产权。目前已完成了 50 台套开放式全数字高档数控装置样机的生产。华中数控研制的华中 8 型高档数控系统已成功配套在普什宁江机床有限公司研制的高精密卧式加工中心 THMC6350（图 8–3）上。

8）吉林大学制定了 7 项数控机床可靠性技术规范，研制了 6 台套可靠性试验与测试试验台，为沈阳机床、大连机床等重点企业的产品可靠性设计和试验提供了参考依据。重庆大学提出“可靠性驱动的装配工艺”概念，并应用于装配现场。以清华大学、东北大学、浙江大学、西安理工大学、东南大学、南京理工大学、北京工业大学等学校为主承担了数字化设计技术课题，通过大量的试验，积累了丰富的机床常用结合部特性数据，为预测机床整机的静、动、热特性提供了通用的机床整机和关键部件静、动、热特性数字化设计方法与软件，初步建立了机床静、动、热特性分析与优化设计知识库，并在专项支持的机床装备中得到了应用。

图 8–3　配置华中 8 型高档数控系统的高精密卧式加工中心 THMC6350

“十二五”时期专项将由注重单机发展向提供系统解决方案过渡，由解决产品性能指标向掌握核心技术转变。到“十二五”末，我国将实现数控系统、功能部件、工具等与主机的配套和协同发展，掌握一批主机、数控系统及关键功能部件的核心技术，形成重大、精密、成套装备的自主开发能力，总体技术水平进入国际先进行列。

8.3 机床工具行业“十二五”发展规划

2011 年是落实“十二五”（2011—2015 年）规划的开端之年，各行各业都根据国家总规划制订了行业规划。受工业和信息化部委托，中国机床工具工业协会承担并完成了《机床工具行业“十二五”发展规划》（以下简称《规划》）的编制工作，2011 年 7 月由工业和工信部批准，并正式对外发布。2011 年 10 月又正式推出《机床工具行业“十二五”期间工作要点（试行）》，以引导行业朝着三个标志性目标和实现“由大变强”的战略转变而努力。其主要发展思路如下：

1. 指导思想

以科学发展为主题，以加快转变发展方式为主线，以结构战略性调整为主攻方向，走“两化融合”新型工业化道路。抓住行业发展的重要战略机遇，以发展数控机床为主导、主机为龙头、完善配套为基础，重点突破数控系统和功能部件的薄弱环节，加快高档数控机床产业化。依托科技重大专项，坚持科技进步和自主创新。加强创新人才队伍建设，提升企业核心竞争力，推动我国由机床工具生产大国向强国转变。

2. 发展战略

（1）培育核心竞争力战略　企业核心竞争力是技术、人才、品牌、管理、文化的综合体现，是企业运用研究开发、生产制造和市场营销等手段而具备的综合获利能力。企业不论大小，核心竞争力是企业能够长期获得竞争优势的基本因素，是企业的生命力。培育具备核心竞争力的企业和企业集团是机床工具行业持续发展的根本保证。

（2）自主创新战略　机床工具行业是国家基础性和战略性产业，必须立足于自主创新，通过自主研发原始创新、引进技术消化吸收再创新、集成现有技术创新等方式，实现关键技术的突破和产业升级。

（3）两化融合战略　工业化和信息化融合是新型工业化的必由之路。要以信息技术提升研发设计、加工制造、企业管理及营销服务等集成应用水平，重点要提升产品的数字化、智能化、自动化和网络化水平，实现产品升级换代，提高竞争力。

（4）精心创品牌战略　开展精心创品牌活动，通过加强和改进产品设计、制造、试验、服务等措施，运用标准、专利等手段，全面加强质量管理，突出产品可靠性和稳定性考核，提高产品质量水平，扩大国产机床工具产品的市场占有率。

3. 发展目标

（1）2015 年综合目标

1）机床工具行业实现工业总产值 8 000 亿元。

2）数控机床年产量超过 25 万台，国内市场占有率达到 70% 以上（按销售额计）。

3）机床工具行业全年出口额达到 110 亿美元，其中机床出口占 40% 以上。

4）全行业平均工业增加值率达到 30%。

5）全行业单位工业增加值能耗比“十一五”末降低 10%。

6）重点企业研发费用投入占销售收入的比例超过 4%。

（2）未来 10 ～ 15 年战略目标　实现由机床工具生产大国向机床工具强国转变。

机床工具强国的主要标志：

1）形成完善的数控机床产业链，国产数控系统和功能部件等配套件基本满足国内主机需要。主导产品达到国际先进技术水平。

2）国产中高档数控机床在国内市场占有主导地位，在航空航天、船舶、汽车制造、发电设备等国家重点领域的主导企业关键零部件加工中得到实质性的推广应用。

3）拥有几家掌握核心知识产权、具有国际竞争力和影响力的机床工具企业（集团）。

4）培育一批国际知名的机床、工具品牌。

机床工具行业“十二五”发展规划提出了“由大变强”的三个“标志性目标”：

第一个目标，在为重点行业核心制造领域提供装备和服务方面取得突破性进展。

航空航天、船舶、汽车和发电设备制造是国民经济和国防安全的重点行业，也是机床工具行业最重要的服务领域，这些行业的核心制造领域对所需机床装备有着很高的综合性能要求，是典型的高端细分市场，为这些领域提供装备和服务的能力，代表着机床工具制造业的最高水平，是机床工具行业战略基础地位的价值体现。

这是一个最具标志意义的目标，也是目前差距最大，难度最高的目标。从行业在四大重点行业核心制造领域的表现情况看，船舶制造和能源装备制造这两个领域，相对有了比较好的基础，而在航空航天和汽车的核心制造领域，我们的基础则相当薄弱。在这些服务领域中，我们现阶段的突出问题是缺乏对用户工艺的深入研究，因而对用户的装备需求特点缺乏深刻的理解和准确的把握，不能为用户提供全面的解决方案。从目前来看，这是主要症结所在。要在上述核心制造领域取得突破性进展，就必须从根本上解决这个症结。

第二个目标，在装备制造业主要服务领域，国产中高档数控机床市场占有率、国产数控机床中数控系统和主要功能部件国产化率有明显提高。

在《规划》中提出，到2015年国产数控金属加工机床的国内市场占有率达到70%。根据“04专项实施计划”，2015年行业主要服务领域所需高档数控机床和基础制造装备立足于国内的比例分别为：汽车制造领域40%，航空航天制造领域50%，船舶制造和发电设备制造领域70%。到2015年国产数控机床中应用中高档数控系统的国产化率由20%提高到50%，中高档功能部件的国产化率由5%提高到20%。

这是全行业“十二五”期间的主攻方向。根据行业统计数据，2010年国产数控机床的国内市场占有率已经达到57%，但是，这个占有率数据构成的大部分是低档数控机床，其中属于中高端的部分则较低。至于中高档数控系统和功能部件的国内市场占有率则更低了，基本是被国外厂商垄断。这是长期以来行业最突出的结构性问题。这些目标不突破，行业的“由大变强”也无从谈起。

第三个目标，形成一批世界知名品牌和优势企业。

在现有基础上，根据近几年企业的综合实力和业绩，初选和推荐一批产品和企业，通过企业自身的努力以及各级政府和行业的精心培育，使一批产品和企业成为世界知名的产品品牌和强势企业。

这个目标是机床制造强国的重要标志和必然要求，其对行业的重要意义不仅在于若干个世界知名品牌和优势企业本身，而在于它会带动全行业综合素质的提

升和竞争力的提高。

以上三个标志性目标还存在着紧密的内在联系：第一个目标是点上的目标，第二个目标是面上的目标，第三个目标是前两个目标的必然结果。

为实现以上目标，今后几年机床工具行业的重点任务是：

重点任务一：着力提升中高档数控机床的市场竞争力

努力提升中高档数控机床的稳定性、可靠性；完善应用软件；降低成本，优化性价比。使行业企业的中高档数控机床原有产品或新产品迅速产业化，转化为具有市场竞争力的商品。

重点任务二：着力提高国产数控系统和主要功能部件的产业化水平

加强对国内数控系统和主要功能部件企业的支持，加大企业技术改造力度，加快其所需专用装备的开发和研制，努力提高国产数控系统和主要功能部件的产业化水平，加强市场培育和开拓，以增强其市场竞争力。

鼓励和支持行业整机企业与国产数控系统和主要功能部件企业结成较为长期和稳固的合作联盟，互相促进，扩大国产数控系统和主要功能部件在国产中高档数控机床上的应用。

重点任务三：着力推进发展方式的转变

为满足迅速提升的市场需求，加快转变经济发展方式，行业企业要采取有力措施，迅速转变“重硬轻软”的倾向，由单纯销售产品，转变为向用户提供全面解决方案，提高产品技术附加值，增强市场竞争力。

为促使以上任务顺利完成，达到预期主要目标，机床工具行业将采取以下措施。

措施一：解决中高档数控机床发展的深层次技术问题，提升产业化水平

围绕国产中高档数控机床“质量上不去，价格下不来”缺乏市场竞争力的现象，针对企业具体产品，扎扎实实分析、解决深层次技术及产业化技术问题。例如，整机制造工艺、数控系统软件的二次开发、产品工艺软件深层次开发等。

措施二：解决国产中高档数控系统、功能部件及刀具的深层次技术问题，提升产业化水平

围绕国产数控系统、功能部件及刀具在国产中高档数控机床上扩大应用的问题，针对企业具体产品，分析、解决设计问题，制造工艺问题，提高产品稳定性和可靠性等深层次技术及产业化技术问题，以满足国产中高档数控机床发展的需要。

措施三：积极推进行业企业进行“两化融合”的技术改造

为提升行业企业中高档数控机床产品的整体制造水平，促进前几年行业企业多采取的“外延式”发展模式转变为“内涵式”发展模式。积极推进行业企业进行信息化与工业化高层次的深度融合——“两化融合”的技术改造。

措施四：加快创新体系及人才队伍建设

行业企业应该加大开发、研究投入，建立以企业为主体，比较稳定的“产、学、研、用”联盟，加快创新体系建设。加快、加强培育本企业爱岗敬业、勇于创新的高素质职工队伍，以应对日益激烈的市场竞争形势。

措施五：进一步培育和开拓市场

提高产品质量，提升服务水平，充分发挥国家政策的导向作用，进一步开拓国内、国际两个市场。在巩固和提高传统服务领域市场需求的基础上，进一步开拓和培育新兴产业市场需求。行业内具有相对优势的企业和产品，如大型数控冲压生产线、重型机床、齿轮加工机床等，要积极开拓国际市场，与国际知名企业一比高低。

依据国家和行业“十二五”发展规划，各企业都结合自身产品定位和市场情况制定了自己的目标和工作重点。

沈阳机床股份有限公司结合自身情况，制定了企业“十二五”的发展思路和目标：① 以产品结构调整为主线，实现技术突破为核心，提升经营规模、提升盈利能力；② 强化内部管理，以开展全面预算管理为核心，实现精细化管理，全面提升管理水平；③ 通过进一步并购扩张实现产业拓展及技术突破，形成同心多元化产业格局；④ 全球范围内广纳人才，增强资本运营能力与国际经营能力；⑤ 总体目标达到“既大又强，世界第一”，努力成为世界一流跨国公司。

围绕产品结构调整，实现企业转型升级；通过自主开发中高档数控机床，实现大规模的产业化生产；通过企业结构调整来推动公司生产方式的转变；对企业内部制度和流程进行重新调整，建立起以市场和客户为中心的企业内部制度和流程；将主要精力放在人才的培养方面，而不是硬件的建设方面；从过去单纯的做机床、买机床，过渡到向客户提供成套解决方案的配套服务能力上来。争取用 5 年时间最终实现“既大又强、世界第一”的目标。

大连机床集团有限责任公司将围绕“高档数控机床与基础制造装备”科技重大专项来开展科研攻关体系的建设，完善在国内设立的自动化装备、加工中心等 6 个研究所的建设，以汽车动力总成高效自动化加工装备的技术和市场为主要工

作方向。在此目标引领下，注重研究数控机床的基础与共性技术，应用最新科研成果，以高速加工中心为主体构建高速柔性生产线。将加强硬、软环境建设，努力建成面向汽车动力总成制造装备的机械工业工程研究（技术）中心。

武汉重型机床集团有限公司将在“十二五”期间重点实现以下几个方面突破：①在服务重点用户领域方面，研制重点企业主导产品典型零件加工装备，加强用户工艺研究，为用户提供全面解决方案；② 在提升高档数控机床的国内市场占有率方面，加强共性技术研究，提高产品可靠性和稳定性，加快信息化建设，由制造型企业向服务型企业转变，建设高档重型、超重型机床关键基础功能部件产业化基地；③ 在培育和创建品牌方面，加快企业为主体的技术创新体系建设，加快国内产业整合，优化产业布局，以创新的方式继续高端引进，加快在消化吸收基础上的自主创新的进程。

济南二机床集团有限公司将实现三个突破重点，即：提升原始创新和集成创新能力，满足高端市场需求；全面提升管理水平，增强项目管理能力；积极推进高端市场营销，努力培育国际知名品牌。五大保证措施为：持续提升自主创新能力，研发重大战略产品；对照国际一流标准，全面提升管理和质量水平；加大技术改造投入，提升“极限制造”能力；培养高素质复合型人才队伍，增强持续发展能力；强化品牌建设，扩大市场影响力和竞争力。

合肥合锻机床股份有限公司在今后一段时期内，将保持国内液压机行业主导地位，扩大机械压力机产品的影响力。到 2015 年，实现产值 15 亿元，使公司成为全国最大的高端压力机装备研发、制造基地，打造国际著名压力机品牌。

齐重数控装备股份有限公司将在“十二五”期间坚持实施四大战略，即技术领先战略、精品工程战略、增值服务战略、国际化发展战略；坚持“主导产品做精、专机做强、企业做优”的发展格局，力争用 5 年的时间，把企业发展成具有核心竞争力的可持续发展的世界级机床制造商和服务供应商。力争到 2015 年，实现工业总产值 65 亿元，利税 10 亿元。

齐齐哈尔二机床（集团）有限责任公司“十二五”期间的指导思想是：以科学发展为主题，加快转变企业经济发展方式，促进企业科学发展上水平；以经济结构战略性调整为主攻方向，促进形成新的竞争优势和经济增长点；以科技进步和自主创新为重要支撑，加快形成自主技术、标准和品牌；以建设资源节约型和环境友好型企业为重要着力点，提质增效，以人为本，增强企业可持续发展能力；以深化企业改革为强大动力，推进“五个转变”和“五个转型”，

体现企业核心价值，打造具有国际竞争力和国际知名品牌的重型装备制造世界知名公司。

济南铸造锻压机械研究所有限公司将在“十二五”期间实现“863 计划”，即利润率达到 8% 以上，锁定 6 个产业方向，每个方向销售收入超过 3 亿元；完成“三个工程”，即用户满意工程、精品工程、人才工程；实现“三个领先”，即科学技术领先、管理水平领先、员工收入领先。

天水锻压机床有限公司将引进部分先进设备，建设数控加工车间、大型退火窑、常规产品总装车间等。同时，将建设高效、实用的机械模拟实验室、电气实验室和液压实验室，为新产品研发和前期技术储备提供实验基础，缩短研发周期，节约研发成本。力争将工程技术中心建设成为国家级工程技术中心。

秦川机床集团有限公司将在“十二五”期间，本着“效益优先、做精做强、高端发展、服务增值”的原则，明确发展重点，优化产品结构。以市场需求为导向，开发适销对路的产品。紧密结合国家重点项目和重点产业发展方向，开发重大战略产品，攻克若干关键、核心技术，增强企业技术创新能力。以企业为主体，建立“产、学、研、用”相结合的创新模式，加强基础、共性技术研究及应用。

将着重打造以“复杂型面加工装备产业链”“高效数控加工机床产业链”和“航空发动机关键部件加工装备产业链”为重点发展方向的三大产业链；大力发展关键功能部件产业群；积极培育现代制造服务业，通过“十二五”的努力，实现“成为具有世界水平的高端装备制造领域的系统集成服务商和关键功能部件供应商”的奋斗目标。

天水星火机床有限责任公司决心在“十二五”期间把企业做强，立足机床主业，以欧美一流机床为目标，重点发展数控机床、重型机床、复合机床。

上海机床厂有限公司在“十二五”期间，将以“调结构，上水平，做专、做精、做强”为发展战略，以发展“大型、精密、微型、数控”磨床为方向，转变增长方式，严格内部管理，提高经济运行质量。产品向高端化、数控化、大型化发展，逐步替代进口。近期还将进行大型数控精密磨床产品升级技术改造项目。

杭机股份有限公司将在未来几年内，努力缩小与国内外同行先进水平的差距，进一步确立“杭机”在行业中的排头兵地位。并将实现机床产量 1 万台、产值 20 亿元、利润总额 2.5 亿元的经营目标。

四川普什宁江机床有限公司在“十二五”期间，将从设计上融入产品可靠性设计的概念，工艺上稳定地制造出机床产品，应用上稳定地生产出用户所需产品等着手。在人员素质提高、工作质量控制、管理过程严密等方面采取措施。同时，把进口的同类产品作为主要竞争对手，实现替代进口的目标，不断提高国产数控机床的市场占有率。将重点对航空航天、军工、船舶、汽车、摩托车、家电行业等进行跟踪调查，以加强产品的定向服务研究和市场细分，立足企业“精密、高效、成套、智能化”的特色，不断完善产品系列，提高产品的适应性，在重点领域形成竞争优势。

威海华东数控股份有限公司在“十二五”期间将达到的目标是：① 数控龙门镗铣床、数控落地镗铣床及数控立式铣车床，向大型、重型、复合化方向发展；② 数控龙门导轨磨床产品向大型、精密、复合、智能化方向发展，以期达到国内领先、世界先进的水平；③ 数控落地铣镗机床及数控立式（铣）车机床，向大型、重型、复合化方向发展；④ 平面磨床和外圆磨床产品在做大的基础上，再将其做强，提升数控化程度、可靠性及精度保持性。

海天精工机械有限公司在“十二五”期间，将实现 35 亿元的销售目标，创建长三角区域中国数控机床制造基地。

8.4 行业发展值得注意的若干倾向性问题

目前，我国机床行业存在如下若干倾向性问题：

1. 习惯思维定式，贪求“两大一全”

近十年来，我国机床工具行业持续高速发展，绝大部分的行业企业都取得了可喜的成绩，经营规模持续迅猛扩张，企业规模越做越大，产品规格越做越大和产品品种越做越全（“两大一全”）。一些企业也沾沾自喜、津津乐道。很多企业在做企业规划、谋求发展时，也习惯于这种思维定式，多以量、值为依据。这完全是一种由小变大的过程，我国机床工具行业也需要经历这样一个过程。但同时我们也应该看到，过去的发展更多地依靠的增长因素（或称发展优势）是：持续强劲的国内市场需求拉动、企业体制机制变革释放和激发的发展动力和创造活力、相对廉价的劳动力成本优势和国家产业政策的有力支持。比较而言，技术进步和管理升级所发挥的作用相对有限。就行业总体而言，仍然没有根本摆脱以规模扩张为主要特征的发展模式，甚至可以说全球金融危机在一定程度上缩短了我国机床工具企业跃升至世界前列所需要的时间。但是值得

注意的是，在新的发展环境下，过去所依赖的那些主要增长因素都不同程度地发生了变化，并且还将继续发生变化（内需的强劲程度、企业改革的持续适应性、劳动力成本的上升）；国内市场需求结构的加速升级与行业供给能力不相适应的矛盾日益突出（通用型的低档产品供给能力过剩，而中高档尤其是面向高端细分市场的产品供给能力严重不足）。机床工具行业要完成“由大变强”的转变，甚至要保持目前“大”的地位，都必须深刻认识上述发展环境和市场需求的变化，走企业内涵式发展道路，走以技术进步驱动为主的发展道路，走持续提升企业自身综合素质的发展道路，正确把握规模与结构、外延与内涵、全与专的关系，转移工作重心，调整资源投向，只有这样才能适应新发展阶段的新要求。

2. 注重有形能力，敬畏无形实力

行业企业经过连续多年的高速发展，不仅在厂房、装备能力、资源动员、资金调配等“有形能力”上出现瓶颈，而在人才培育能力、技术创新能力、市场运作能力、品牌创建能力、管理驾驭能力和文化建设能力等“无形实力”方面也明显感到力不从心。然而，绝大多数企业，对“有形能力”比较注重，愿意花精力与财力去解决。而对“无形实力”取敬畏之心，知难而退。长此以往，必将导致企业没有发展后劲，也不可能长久做“大”，更不可能“由大变强”；既解决不了“形似神不似”的问题，也绝对达不到“形神跃升”的境界。

3. 浅尝辄止，不愿卧薪尝胆

近几年，确实有一批大型机床企业在国家政策的引导和支持下，制造出以前不可能制造出的一些高端产品，比如大规格 / 大吨位的产品、多轴联动的产品、多工序复合的产品。但是不可否认的是，这些高端产品，往往只是一台样机，仅仅是实现了一些基本功能和规格指标，真正在用户中取得良好应用效果的还不是很多，形成一定市场规模（占有率）的则更是很少，有相当部分的产品还仅仅停留在“能做”这个初级阶段上，离“做好”和“做出特色”差距甚大，但却大肆宣传，用词夸张。一般情况下，鉴定获奖即大功告成，又急着把注意力和资源投向新的项目上。不仅造成研发资源的巨大浪费，更重要的是不能形成企业在技术和市场应用上的突破，形成不了新的增长点。企业应该在保持原有的优势的基础上，扬长避短，选准重点突破的市场方向，集中资源，卧薪尝胆，这样才能做出自身的品牌和特色，形成具有市场竞争力的产品。

这些倾向性问题带有行业普遍性，一直严重制约着我国机床行业的发展，必须引起充分注意。

8.5 战略思考

在机床向着高速、复合、智能、环保方向发展的今天，我国中低档数控机床产品基本能满足行业的需要，而高水平、高性能、质量稳定的高档数控机床，如五轴联动的车铣加工中心、五面五轴龙门铣加工中心、高速精密立 / 卧加工中心等仍严重依赖进口。我国国产高档数控机床产业化基础较低，基本处于开发试制阶段，这个市场几乎被国外完全占领。我国在精密数控机床、高性能专门化数控机床、复合功能数控机床等领域以及在机床的可靠性、精度保持性等方面与国外的差距更大。正是由于这些差距，国产高档数控机床得不到用户的普遍认可，使我国成为世界数控机床进口大国，进口额占世界机床进口额的7% ～ 10%。

这种市场表观现象的背后，反映出我国数控机床企业的内涵实力不够、外延服务能力不够、市场开拓能力不够、政策扶持力度不够。需要从多层次、多方面注意发展战略。

1. 确定不同的技术发展策略

要根据高、中、低档数控机床的市场定位、技术含量的不同，确定不同的技术发展策略。

（1）三种档次数控机床的技术与市场定位

1）高档数控机床——掌握关键技术、解决工程急需、引导技术发展。

我国机床行业目前在一批共性的关键技术上尚处于攻坚性突破阶段，自主创新能力不强严重制约了我国中高档数控机床产业的发展。其次，数控机床与普通机床生产的不同之处在于功能部件的成本占整机成本的60%左右，而其质量、技术、性能更是决定因素。发展中高档数控机床就必须采用这些先进的功能部件，而目前这些部件都需要从国外进口，导致成本较高，严重降低了国产数控机床的竞争力。

《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》明确规定了“高档数控机床与基础制造技术”科技重大专项要“重点开发航空航天、船舶、汽车制造、发电设备制造等需要的高档数控机床”“逐步提高我国高档数控机床与基础制造成套装备的自主开发能力，满足国内主要行业对制造装备的基本需求”。

专项实施方案提出：到2020年，形成高档数控机床与基础制造装备主要产品的自主开发能力。总体技术水平进入国际先进行列，部分产品国际领先；建立起完整的功能部件研发和配套能力；形成以企业为主体、产学研相结合的技术创新体系；培养和建立一支高素质的研究开发队伍；航空航天、船舶、汽车、发电设备制造所需要的高档数控机床与基础制造装备80%立足于国内。“十二五”数控制造装备的整体目标是：解决国家重大急需，经济支柱产业主要装备立足于国内，形成国际竞争力的企业与产品。

因此对于高档数控机床，应在引进设备的同时，注意掌握其关键技术；在解决工程急需的同时，注意创新发展；在积极参与国家重大专项的同时，注意引导技术的发展。

2）中档（普通型）数控机床——加强技术创新、发展品种性能、增强竞争能力。

我国数控机床技术水平与国际先进水平存在较大的差距，自主创新能力的提高，将是缩短技术差距的重要途径。要充分利用资源，加强基础技术研究，对引进的高档数控机床的技术水平和应用能力进行测评，探求其结构与制造上的特点和不足，将有助于从技术跟踪走向创新。中档（普通型）数控机床已经成为我国数控机床产品的主流，其发展将推动我国为数众多的经济型（低档）数控机床生产企业的技术进步，并为研制高档数控机床提供技术和人才的基础。

中档（普通型）数控机床的国内需求量大，国内市场竞争激烈。国外著名机床公司在国内几乎都设立了办事处，绝大部分还设立了工厂；国内的机床厂家在机床产品上难以拉开档次，缺少特色，质量、精度、效率、可靠性、外观等方面与国外产品有一定差距。

纵观德、美、日等工业发达国家数控机床的发展过程，他们都各有其特点，并值得我国借鉴。

德国政府一贯重视机床工业的重要战略地位，在多方面大力扶持。德国特别注重科学试验、理论与实际相结合、基础科研与应用技术科研并重。企业与大学科研部门紧密合作，对用户产品、加工工艺、机床布局结构、数控机床的共性和特性问题，例如近年对节能和环保等进行深入的研究，在质量上精益求精。

美国政府比较重视机床工业，美国国防部等部门针对本身的特殊需求不断提出机床的发展方向、科研任务和提供充足的经费，且网罗世界人才，特别讲究“效率”和“创新”，注重基础科研，因而在机床技术上不断创新。

日本政府对机床工业的发展异常重视，通过规划和法规（如“机振法”“机电法”“机信法”等）引导发展。在重视人才及机床元部件配套上学习德国，在质量管理及数控机床技术上学习美国，甚至青出于蓝而胜于蓝。日本也和美、德两国相似，从充分发展大量、大批、生产自动化着手，继而全力发展中小批量、柔性生产自动化的数控机床。

我国在数控机床发展的道路上，在政府高度重视、正确决策、大力扶持下，充分注意我国国情和工业基础，吸取德、美、日的先进经验，再适时解决高档数控机床的核心关键问题。加速提高人员素质，举办各种技术讲座、培训班和专题讨论会，甚至聘请外国专家、顾问等，培养出各种专家人才，包括各种高级技工，从根本上改变目前低效、落后的状态。

因此对于中档数控机床要注意防范市场风险，不能盲目扩大产能，应在加强技术创新、提高产品性能上下功夫，以增强市场竞争能力。

3）低档（经济型）数控机床——提升加工效能、改善操作功能、确保品质稳定。

数控机床是一种先进的机电一体化制造装备，它表征着具有更高的精度、效率、柔性和自动化的加工设备。但它也和所有的设备一样，在时代的进程中不断地提升与发展。表 8–5 中列出了加工中心，数控龙门铣床和数控车床的低、中、高三种档次产品的主要技术指标，它们分别对应 20 世纪 80 年代、90 年代和 21 世纪的国际水平，反映出数控机床的技术水平随时代而前进的步伐。

因此，在制订数控机床的技术规划时，首先要考虑用户的当前需求及期望，同时考虑国际技术的发展。过低的技术性能，虽可降低进入机床制造领域的门槛，但将会影响产品的市场竞争力。当前普通精度等级低、中、高三种技术水平数控机床的技术指标的比较见表 8–5。

（2）数控机床产品结构调整体现以中档为主的中高档发展方向　国内不同制造行业对数控机床的技术水平的需求情况（表 5–1），显示出产品需求的技术构成已从中低档向中高档转变的趋势，其中中档水平普及型数控机床需求量占比最高约近 50%。

一批国家急需、长期依靠进口、受制于国外的高档数控机床通过研制取得了一些新的突破；中档和中高档数控机床已可以部分满足市场，但尚需在品种、功能和性能上加快适应市场需求；国内所需的中低档数控机床基本上可以立足国内。

表 8-5　当前普通精度等级低、中、高三种技术水平数控机床的技术指标比较

技术指标	低档（经济型）		中档（普及型）		高档（先进型）	
	中小型机床	大型机床	中小型机床	大型机床	中小型机床	大型机床
技术水平衡量	20 世纪 80 年代国际水平		20 世纪 90 年代国际水平		21 世纪当代国际水平	
双向定位精度 /mm	≤ 0.020/全长	≤ 0.032/2 000	≤ 0.010/全长	≤ 0.018/2 000	≤ 0.006/全长	≤ 0.008/2 000
主轴回转精度 /mm	≤ 10	≤ 15	≤ 3	≤ 5	≤ 1	≤ 2
快移速度 /（m/min）	≥ 15	≥ 8	≥ 24	≥ 15	≥ 48	≥ 25
功能特征	二、三轴联动		三、四轴联动		五轴联动复合加工	

2. 数控机床产业化措施

数控机床的产业化是一项系统工程，而确保产品的高水平和高可靠性是至关重要的。质量和可靠性是数控机床产品的必备要素。企业要根据对市场的调研和现有基础进行定位。为此，一是要按照 ISO 9000 标准的要求，建立完善的质量保证体系，制订与先进国家（企业）标准等同的企业标准，严格考核机床的各项指标；二是要规范企业的工艺标准，并严格执行；三是要进一步加强对产品可靠性的研究，通过试验验证和用户应用信息的收集进行不断地改进，并在此基础上树立赶超目标，使产品质量和可靠性不断提高。

（1）树立品牌意识，着力提高主机自主研发和制造能力　我国是制造业大国，但还不是制造强国，必须要以提高整机可靠性和产业化水平为主攻目标，努力掌握一批高档数控关键产品开发的核心技术，推出一批高档数控机床，满足重点用户急需，摆脱以规模扩张为主的发展模式，精心培育高档数控机床市场，在树品牌上下工夫，着力提高企业的高端软实力。

20 世纪 90 年代以来，我国机床产品已由价格竞争逐步过渡到质量和品种多样化竞争阶段。目前尚未完全上升到品牌竞争这一高层面。“名牌”才是企业核

心竞争力的最终体现。名牌产品体现企业的实力，代表企业的形象，也决定我国机床行业的兴衰。我国机床行业，近年来有较大的发展和提高，但从世界机床市场竞争角度来说，我们仍然只能算是“制造大国、名牌小国”，我们与世界名牌的差距还很大，要成为世界名牌，我们还有很长的路要走。

（2）加大关键共性技术研究力度，突破功能部件瓶颈　共性和关键技术攻关必须与数控机床和功能部件的基地建设有机结合，要提高国产数控系统和关键功能部件的配套能力，特别是要提高在国产中高档数控机床中的配套能力。有些机床厂家自己生产部分功能部件，如主轴、换刀机构等，设计和制造水平不高，周期和成本降不下来，显然不利于提高国产机床的竞争力。

要培育一批功能部件的龙头企业。加大政策支持力度，重点发展高档数控系统、高速主轴单元、精密滚动功能部件、动力刀架、精密转台、高速导轨防护装置等高水平的功能部件，加快产业化进程，培育国产品牌，实现功能部件与数控机床同步发展。

（3）加强基础理论和试验研究，努力提升自主创新能力　我国机床行业比较落后，不仅体现在主机性能、控制技术、功能部件上，而且还体现在材料、机械结构设计、制造工艺等方面。究其原因，就是缺乏对各技术细节进行认真、系统的基础理论研究和试验研究。如主轴技术，合理支距、轴承配对形式、预紧力大小、润滑及冷却等对机床性能的影响；再如结构大件技术，材料组分、制造工艺、减振降噪、筋板布局等；又如伺服技术，不仅与算法、软件相关，还与机械结构、特性匹配相关。看人家的结构，似乎明白，而真正模仿起来，却不是那么回事，细微之处和其中奥妙难以领会，更谈不上自主创新。只有在理论、技术、工艺、试验、应用软件等各方面认真进行基础研究，才能做到知其所以然，才能在模仿的基础上，有所创新，有所超越。

（4）密切国际合作，加快技术引进消化　为了较快得到最新技术，企业可直接与国外科研院所和国外一流企业合资、合作，以市场换技术，以有限的资金换取无限的发展，实现主流产品生产的高起点、成批量、专业化。在引进与合作过程中，需要加强引进技术的消化吸收与再创新。某些领域与国外差距较大，国外先进技术有引进的可能，则通过引进技术，加强消化吸收，实现再创新，满足用户的需求。在技术基础较好的领域，集成现已形成一定优势的技术，与用户结合，产学研结合，开发满足用户需要的产品，形成技术创新能力，力求在原始创新上取得突破。

数控机床行业必须实现产业结构升级，调整技术依赖心态。一是技术来源要由引进模仿为主，走向技术自立。二是经营策略要由依靠规模扩张，开展低附加值、低价竞争，转向主要依靠创新建立差异化优势，实现效率提升；三是由产业链的低端制造，向高技术含量、高附加值的环节延伸；四是由跟踪模仿，转向抓住机遇挑战领先地位。

（5）加快创新体系及人才队伍建设　企业内部要鼓励创新，加快人才队伍建设。要充分认识到创新体系建设的重要性和紧迫性，要从制度上保证创新动力。人才包括管理人才、市场开拓人才、设计人才、售后服务人才；同时也包括工艺人才、装配调试人才、质量检验人才等。在国外很多企业重视一线工艺人才的程度要大于设计人才，而在我国这方面显得远远不够。要想方设法吸引人才、留住人才、充分发挥人才的作用。要加强企业文化建设，鼓励员工敬业爱岗，以企业为荣，反对互挖墙脚。

（6）加速标准和技术规范的研究和制订　我国很多标准相对落后甚至是空白，需要花大气力去改进和完善。

标准和技术规范的内容：高档数控机床与基础制造装备标准化总体方案、绿色制造技术、数字化设计技术标准研究，高档数控机床标准体系、设计和装配基础规范、安全卫生环保规范、基础检验方法标准、可靠性标准、重点产品规范研究，大型数控冲压成形设备和重型锻压设备、清洁高效铸造设备等基础制造装备关键技术标准研究，高档数控装置、电机及驱动装置等关键功能部件技术标准研究，重点功能部件的评定验收规范系列标准、高速切削刀具安全技术与检测体系、高速刀柄与机床主轴的接口技术研究，高档数控机床与基础制造装备标准应用试点。

（7）大力提升全行业的服务能力　服务收入是国际机床企业重要的收入来源（超过 50%），而国内机床企业目前的服务收入还没有真正起步（低于 10%），装备制造业的发展过度依赖单机、实物量的增长。未来机床的三包服务、备品备件、机床大修、技术咨询等服务业务，将是重要的经济增长点，包括深入研究用户工艺，为用户提供系统设计、系统成套、工程承包、远程诊断维护、回收再制造、租赁等服务。

3. 政策建议

（1）优先立项首台首套　优先立项支持选用国产数控系统的首台首套高端数控机床装备的研制，推动自主研发的高档数控系统的应用验证和市场推广。把数

控机床厂、数控机床用户和数控系统厂联合申报，作为项目立项的重要条件。

（2）设立“国产中高档数控机床可靠性示范工程”项目　在数控机床的典型用户行业（如汽车、军工、数控机床生产企业）内，建立一批国产中高档数控系统和国产中高档数控机床应用验证示范点。政府部门支付一定的财政性资金购买国产数控系统和国产中高档数控机床，调动用户选用、试用国产中高档数控机床的积极性，并积极做好数控系统的应用验证和可靠性考核。

数控机床平均无故障工作时间 MTBF 是衡量企业综合制造水平和管理水平的重要标志。“十一五”期间，我国数控机床平均无故障工作时间从 MTBF500h 提高到 MTBF900h。我国数控机床与国际 MTBF2 000~3 000h 水平仍有较大差距，已经成为市场竞争的焦点，应该引起企业的高度关注。数控机床定位精度是衡量设计制造水平的标志，我国已经有几家机床制造企业数控机床定位精度达到 0.004mm 的国际水平，个别机床达到 0.002mm 的国际先进水平，但与国际领先水平（＜ 0.001mm）尚有差距。

（3）夯实“产学研用”联合研究成果　国内目前多数“产学研用”存在很多问题：紧密程度、结合深度不够；一次性联盟占多数，可持续性差；研究成果多局限在理论层面；试验研究不够充分。要注意发挥“产学研用”各方的优势，不能为联合而联合，课题要从“用”方来，要从“产”方来，研究的成果要真正返回给“产”方和“用”方，要真正解决实际中的问题，为“产”方和“用”方解答其所以然。将共性技术研究项目的成果向重大专项重点任务承担单位无偿转让的机制落到实处。

（4）继续对相关企业实行税收优惠政策　支持具有自主知识产权的国内数控系统生产企业的增值税的 50% 先征后返政策；增加对数控系统企业所得税 50% 返还的政策；对所有返还税款，免征收所得税，用于企业研究开发和扩大再生产。应严格禁止从国外进口数控产品贴牌销售的企业，享受国内数控系统企业税金返还政策。对外国企业在中国总装生产数控系统和功能部件的进口组件，按数控系统和功能部件同等税率征收进口关税。同时对国内数控系统和功能部件企业进口关键电子元件实行零关税。

（5）支持骨干数控系统和功能部件企业进行技术改造　在国家政策扶持下，以国家参股或以无息贷款或贴息贷款形式引导企业加大投入，支持重点企业对数控系统和功能部件规模化生产设备、工艺手段、数控系统和功能部件的性能检测和可靠性考核设备、研发及中试的条件和质量保证体系等方面，进行技术改造，

大幅度提高数控系统和功能部件生产设备的自动化水平，改善规模生产条件，保证批量产品的质量。

机床工具行业正处于实现重大战略转变的关键转折期，实施战略转变和工作重心转移，推动行业由大变强是市场和发展环境变化对行业提出的客观要求，也是行业持续健康发展的现实需要，更是国家战略赋予机床工具行业的历史使命和责任。

第 9 章　数控机床产业跨越发展路线图

数控机床是当今世界发展新兴产业和尖端工业的最基本的生产工具，是实现装备制造业现代化的关键设备，是国防军工装备发展的战略物资。数控机床的拥有量及其性能水平的高低，是一个国家国民经济和综合国力的重要体现。世界上各工业发达国家将数控机床作为国家的战略组成部分，不仅投入大量资金和采取重大举措来发展自己的数控机床技术及其产业，而且在高、精、尖等关键技术和装备方面对我国实行技术封锁和贸易壁垒。因此，加快数控机床产业发展成为我国装备制造业发展的现实要求。

《高端装备制造业“十二五”发展规划》中指出，综合考虑未来发展趋势和条件，到 2015 年，我国高端装备制造业发展的主要目标是：

1）产业规模跃上新台阶。高端装备制造业销售收入超过 6 万亿元，在装备制造业中的占比提高到 15%，工业增加值率达到 28%，国际市场份额大幅度增加。

2）创新能力大幅提升。初步形成产学研用相结合的高端装备技术创新体系，骨干企业研发经费投入占销售收入比例超过 5%，形成一批具有知识产权的高端装备产品和知名品牌，培养一批具有国际视野的科技领军人才。

3）基础配套能力显著增强。高端装备所需的关键配套系统与设备、关键零部件与基础件制造能力显著提高，其性能和质量达到国际先进水平，智能技术及核心装置得到普遍推广应用，高端装备重点产业智能化率超过 30%。

4）产业组织结构进一步优化。形成一批具有国际影响力的企业集团和一大批具有竞争优势的“专、精、特、新”专业化生产企业，建成若干创新能力强、特色鲜明的高端装备制造集聚区，产业集中度明显提升。

力争通过 10 年的努力，形成完整的高端装备制造产业体系，基本掌握高端装备制造业的关键核心技术，产业竞争力进入世界先进行列。到 2020 年，高端装备制造产业销售收入在装备制造业中的占比提高到 25%，工业增加值率较“十二五”末提高 2 个百分点，将高端装备制造业培育成为国民经济的支柱产业。

数控机床是我国高端装备制造业的核心基础行业，其发展水平和速度直接

影响着整体装备制造业的发展，工业发达国家将数控机床作为贸易保护的重要部分，近几年更是增加了对中国机床行业进行严格的技术壁垒，足见其在国家经济安全方面的重要性。

一直以来，我国数控机床行业技术发展比较缓慢，但产业规模并不小，2010 年金属加工机床产量为 101.7 万台，数控机床产量达到了 23.6 万台，产量数控化率为 23.2%，产值为 1 505 亿元，产值数控化率为 51.9%，而从业人员高达 28.9 万人，人均工业总产值 52 万元。而德国 2011 年总产值为 131 亿欧元（包括零部件及安装和维修保养费），雇用人数 6.58 万人，人均工业总产值 19.9 万欧元，合计约 158 万元。我国的人均工业总产值仅为德国的 1/3。2010 年中国机床工具工业协会重点联系企业生产数控金属切削机床 11.97 万台，产值 400.9 亿元，平均单价 33.5 万元，而进口数控机床约 5 万台，进口金额 67.78 亿美元，平均单价 13.57 万美元，合计 85.7 万元，出口数控机床 3.1 万台，金额 5.3 亿美元，平均单价 1.7 万美元，合计约 10.7 万元。这里需要分析指出的是，近几年由于国家科技攻关和重大专项的支持，许多企业生产的数控机床还只是研发样机或很小量的生产，虽然价值较高，但要批量生产和可靠应用并提供商品还需要进一步改进和提高，而在总产值中不能明确反映这个现象，因此实际的平均单价还要低。由此说明我国数控机床大量生产主要以低档低价值的经济型和普及型为主的产品，这种产业结构将不能很好地满足战略性新兴产业的发展。在国家大力发展战略性新兴产业的今天，势必造成大量进口，不仅花费巨额外汇，增加制造业成本，更会对国家经济和国防安全造成重大威胁。

目前我国虽属于世界上的科技制造业大国，但却因为没有足够多的具有自主知识产权的产品，而不得不常常采购国外的技术设备。这种情况既抑制了我国的自主创新步伐，又令国家的经济安全得不到有效的保障。

因此大力发展数控机床，特别是高端数控机床，成为我国机床行业的重中之重。

9.1 产业振兴路线图

“十二五”期间航天工业、汽车、高铁、工程机械等行业投资增速、产业结构调整，对中高端数控机床需求不断提升，下游行业每年的固定资产投资中，约 60% 用于购买机床。因此受下游需求拉动影响，中高端数控机床领域大有可为。据有关分析报道，到 2020 年低、中、高档数控机床之比将达到 20 ： 60 ： 20，

中高档数控机床年需求量在 12 万台，具有广阔的市场空间。但高端机床的进口替代进程是一个较为漫长的过程，国产机床得到市场的认可需要一定的时间。

数控机床产业是为国民经济各行业提供技术装备的战略性产业，产业关联度高、吸纳就业能力强、技术资金密集，是各行业产业升级、技术进步的重要保障和国家综合实力的集中体现。经过多年发展，我国数控机床产业已经形成门类齐全、具有较大规模和一定技术水平的产业体系，成为国民经济重要的支柱产业。

由于数控机床产业自身特性和所具有的战略作用，在关键技术、设备和涉及国防安全的领域必须要保持国家控制力，同时，在保护民族产业、支持国产化方面国家也应有所作为。因此，世界各国都从战略高度上对装备制造业进行整体规划，同时给予了普遍的重视与支持，利用多种政策手段支持装备制造业的振兴与发展。在政策取向上，由于财税政策所具有的产业引导性、政策可操作性以及直接效果明显等特征，各国均结合本国税收制度的特点，在税收制度设计、税收优惠安排等各方面都给予了持续激励，成为了振兴装备制造业所采取的一个重要手段。

数控机床产业振兴规划应从产业政策和发展环境上予以全面考虑。

9.1.1 产业政策方面需充分支持

国家对企业政策上的扶持可以通过直接资助、税收政策、政府采购、产业政策、协调作用、基础设施服务等措施实施，也可以通过鼓励和引导企业增加技术和生产投入，进行产业结构升级，推动经济的持续增长。当然政府支持应尽量保持公平，并避免企业过度依赖，从而削弱了市场的调节力。国外先进国家大都通过税收、政府采购等方式鼓励企业增加研发投入，增强企业技术创新动力，实现产业的创新和发展。

1. 减免财政税收，为行业发展提供宽松的资金环境

多年来，数控机床产业发展主要依靠企业自身自主发展，企业的生存情况严重影响企业的发展步伐，因此数控机床产业发展不够快，特别是基础技术研究方面和为用户提供全面解决方案方面投入非常少，这对产业技术创新和发展极为不利，为了更好地推进数控机床产业发展，为国民经济建设和国防技术发展装备优良的基础制造设备，国家应加大对数控机床企业的财税支持。完善的发展体系与健全的法律保护才是产业发展的根本保证。

近些年，国家在重大技术装备、重大专项、共性技术研究、基础工艺及装备、装备进出口等方面出台了一系列财税政策，惠及数控机床产业，起到了积极的作用。但是我国数控机床不仅在技术指标方面与国外发达国家相比存在着很大

的差距，而且在零部件配套、柔性加工生产线集成、数控系统、机床智能化等方面以及产业化、售前及售后服务等方面与发达国家相比同样存在很大差距。我国许多重大战略项目所需的数控机床对国外技术依存度很高，高档数控机床几乎全部依赖进口。为此，需要国家加大力度给予数控机床行业持续的优惠政策，以便其进一步调整产业和产品结构，更有力地促进我国中高档数控机床技术研发和产品商品化发展，积极参与国际市场的竞争，有力地支撑我国装备制造业的发展，满足国民经济各部门日益发展的需要。

1）进一步明确现有与数控机床产业相关的财政支持和税收优惠政策，重视政策的连续性、稳定性和长期性，并进行相应的培训和指导，提高可操作性，缩短和简化审批过程，加大支持和优惠力度，提高企业利用政策的积极性。

2）对企业研发投入给予财政支持。由于数控机床产业的技术研发周期长、资金投入大，政府可对企业的自主研究开发及试验研究经费提供税收优惠政策，对于新产品研制和试验研究的设备给予加速折旧政策，对用于共性技术研究的仪器设备减免进口税并且不提取或减免折旧费，允许用于共性技术研究的财政投入列支人员费用等。还可与金融机构联合建立适应数控机床产业特点的信贷和保险业务，支持产业快速发展。国家应激励企业自主创新，对企业技术创新的研发过程给予系统完整的扶持，促进可迅速转化为生产力和使生产率显著提高的项目尽快实施，重视技术创新中人力资本的税收激励。

3）对进口的关键加工设备、高精度测量仪器、数控机床上用的高性能零部件、控制系统、气动和液压元件以及重要刀具和原材料实行相应的税收减免。提升企业的制造能力，鼓励技术引进并消化吸收再创新。

4）对于瑞士、德国的高质量、高品质产品，进口可以适当降低关税甚至完全减免，但对其他国家则应慎重考虑。

或许有人认为，降低或取消关税会对国内机床产业造成冲击，产生就业压力，但事实可能并非如此。比如在我国加入 WTO 后，随着关税的逐渐降低，我国汽车工业不仅没有产生就业压力，反而转移吸收了上亿的农村剩余劳动力。另外，说到瑞士、德国制造，人们首先想到的是精益求精，不论是在产品设计、制造还是应用上，处处为用户着想，设计制造出最佳产品，满足用户多方面的要求是他们追求的理念。他们以巨大的科研经费投入，使创新科技转化为现实生产力，从新材料、新工艺的运用，到企业的严格管理、周密的生产布局，几乎刻板的工艺要求和精细到极致的生产组织，使“德国制造”“瑞士制造”以高质量、

高品质长久地称雄于世界，并且深入人心，瑞士机床更是被誉为“使用钟表工艺制造的高品质产品”。而这一切，正是我国机床制造业应当学习和提高的，通过对产品、技术和标准的引进，可以潜移默化地学习和吸收这些先进理念并付诸实践，提升我国产品质量和品质。

有目的地降低关税，国内制造业可以用更低的价格购买所需设备，机床制造厂可以用更低的成本引进技术，从而促进机床产业更快更好地发展。

5）提高出口退税率，鼓励出口，参与国际竞争。财政部、工业和信息化部、海关总署、国家税务总局联合发布，凡是最新修订的《国家支持发展的重大技术装备和产品目录》和《重大技术装备和产品进口关键零部件、原材料商品清单》中所列重大技术装备和产品以及进口清单中相关零部件和原材料商品，将免征关税和进口环节增值税。财政部财科所所长贾康在“2012 年中国对外贸易 500 强企业论坛”上指出，装备制造业出口将实行全额退税，这将进一步提升机床产业出口的积极性，对降低企业成本、缓解压力、参与国际竞争起到了积极作用，对产业结构调整非常有利。

如果制定好配套的实施细则，做到国家外汇管理部门、海关、税务部门、银行等统一配合，就可以防止出口企业在报关、结汇、付款、退税等方面发生新的问题。提高出口信贷，缩短退税时间，协助企业解决外汇结算问题，以减少出口企业出现的汇兑损失，则将更有利于促进出口。

2. 支持技术改造，用国产机床武装民族工业

2012 年 3 月 28 日，工业和信息化部研究并提出了《2012 年工业节能与综合利用工作要点》。明确提出要加快发展机电产品再制造产业，研究制定机床再制造实施方案，加快推进机床再制造工作；推动出台再制造税收鼓励政策，加强政策对再制造产业发展的引导和扶持作用，完善再制造产品追踪及质量管理机制，确保再制造产品的质量。

再制造是企业技术改造很重要的环节之一，随着制造精度和生产效率要求的不断提高，许多老旧设备不能适应发展需求，通过机床制造厂根据需求进行的有针对性的数控化改造和性能提高技术的应用，可以大大提高机床的可靠性、提升生产效率、改善劳动环境、增加机床利用率，充分满足高品质零件的加工要求。机床再制造也是节能环保、绿色制造的体现，不仅可以节省大量的原材料、劳动力、能源、工具损耗等，更可以通过机床新技术应用降低能耗，减少污染，降低制造成本。据有关统计，目前全国机床保有量约 800 万台左右，约 1/4 已开始进

入更新周期，机床再制造大有可为。国家应出台相关的扶持税收政策，鼓励国内用户改变消费观念，勇于接受再制造产品，鼓励机床企业自用再制造产品。

加强基础能力建设是企业技术改造的又一体现。鼓励和支持企业完善科研试验设施建设，提高数控机床加工水平和自动化及智能化水平，推广先进制造工艺技术，提高制造过程的科学管理水平，实现产品设计、制造、测试等环节的数字化和信息化，提高产品稳定性和生产效率，选择有条件的地区和企业开展数字化车间示范建设工程。实现用国产数控机床装备国内数控机床产业，提高加工质量，强化数控机床的运行和监测，通过实践考核发现问题并提供应用数据，为技术改进和质量提高提供基础数据。

3. 加强人才培养，充分利用教育资源

2010 年国务院发布的《国家中长期人才发展规划纲要（2010—2020 年）》，是实施人才强国战略的重大举措。我国数控机床企业在发展过程中，由于各种复杂因素，许多企业都经历过专业技术人员流失、优秀技术工人下岗的尴尬局面，极大地阻碍了企业的发展。企业应借助国家政策，制定人才强企的发展战略，实现企业的发展。

高素质专业技术人才是科技发展的第一资源，是国家的核心竞争力的重要体现。国家制定相应政策，充分发挥企业、科研院所、高校、职业院校和其他培训机构的平台作用，加强与国外合作，建立人才引进和培养机制，健全激励与分配机制，营造育才、引才、聚才、用才的良好发展环境，将扶助企业培养具有综合能力的技术型人才，提高人才培养质量，增强企业自主创新能力，在日趋激烈的国际竞争中掌握主动。人才自主培养开发，必须立足国际水平，树立一流世界标准。企业对于员工每年应有培训目标和计划，根据不同层次人员，量身定做培训方案。同时，企业与大学密切结合，进行不断的探索性技术研究，根据需求适时输送技术员到大学深造，培养技术和研究的多面手，造就企业骨干和行业精英。这样可以稳定人员、默契配合，逐步形成独特的企业文化，依靠雄厚的技术基础和牢固的企业文化，提高创新能力和水平，步入培育人才良性循环之路。

高技能人才是技术发展的主力军，是高质量产品的最终实现者。应重视员工职业素质的提高和技术能力的培养，打破师傅带徒弟的人才培养模式，实现规范的流程管理和培训。加强职业培训，利用现有各类职业教育培训资源，大力推行校企合作，广泛开展各种形式的职业技能竞赛和岗位练兵活动，完善高技能人才培养培训体系。德国非常重视战略后备人才的培养和使用，多数机床企业中学

徒工占总人数的 10% 以上，这是他们长期保持生产高质量、高品质产品的秘诀之一，非常值得我们借鉴。

高水平管理人才是企业发展的灵魂，对提高生产效率起着决定作用。管理人员应德才兼备、以德为先，无论在识人用人方面，还是生产管理方面，都应以企业更好地发展为目标，摈弃自私自利的思想，为科技人员和技术工人创造充分施展才能的舞台和条件，充分发挥人才的积极性、主动性和创造性，提高人才效能，激发各类人才的创造活力。

德国、日本在机床工具行业具有很强的竞争力，一个重要原因是其有一支敬业精神强、对技术精益求精、对产品质量一丝不苟的产业工人队伍，通过完善的培养、评价、激励、保障体系形成了产业工人的阶梯培养模式，几乎每个数控机床企业都有 10% 左右的学徒工在培养。在加快产业优化升级、推动技术创新和技术成果转化等方面，产业工人发挥着不可替代的作用，因此，认真培养造就优秀产业工人对于提高企业竞争力有着战略性的重要作用。

2008 年 12 月，国家启动海外高层次人才引进计划（简称“千人计划”），主要围绕国家发展战略目标，用 5 ～ 10 年时间，在重点学科和重点实验室、以高新技术产业开发区为主的各类园区等，引进并有重点地支持一批能够发展高新产业、带动新兴学科的战略科学家和领军人才回国创新创业。至今已经有近两千名海外高层次人才入选，其中相当一批人已经进入相关机构，开始在国家科技政策的制订、执行等方面发挥越来越重要的作用。

国家应鼓励高等学校、科研院所、国有企业的科技人员通过系统培养和自主提升相结合方式，提高技术水平，增强责任意识，重视德才兼备的科技人才，提供宽松的科研环境，使其在突破关键技术、带动产业发展等方面发挥作用，成为推进科技创新的生力军。

4. 推动国产采购，产学研用充分结合技术互补

国家发展和改革委员会副主任、国务院振兴东北办主任张国宝在国家重大技术装备自主化经验交流会上指出，在国家和地方政府投资的重点工程中，国产设备采购比例一般不得低于总价值的 60%。

《政府采购法》第十条明确规定：政府应当采购本国货物、工程和服务。但有下列情形之一的除外：① 需要采购的货物、工程或者服务在中国境内无法获取或者无法以合理的商业条件获取的；② 为在中国境外使用而进行采购的；③ 其他法律、行政法规另有规定的。

对于国内制造业，特别是高端制造业，选用高端设备考虑的首要因素是设备的安全和可靠性，而在人们心目中，国内厂商的产品大都集中在中低层次，没有相应的高端产品，即使有，由于推出时间短，没有经过时间的检验和充分的试验验证，也不敢采用。

改革开放以来，国家花费大量资金引进技术，企业消化吸收后也开发了许多新产品，近几年国家重大专项更是推动了许多具有国际先进水平的产品诞生，通过重大专项的大力支持以及各企业自身发展，许多国产机床已经完全可以和国际知名品牌相媲美，我们在高端领域已经取得了许多突破，在产品总体拥有成本和总体质量上都具备了相当的优势。这不但表现在产品本身，还表现在我们具有专业良好的本地服务和全面的整体解决方案。但是新产品因没有依托工程而得不到有效验证，加上数控机床企业在产品研发过程中没有对新工艺、新技术和新设备进行实质性的实验研究，开发的产品适应性较差，不能完全满足用户的需求。即使有些产品已具备相应生产能力和技术水平，但被部分用户以可靠性差为由剥夺投标资格，增高了国产机床进入市场的门槛。另外受传统购买惯性的驱使，普遍认为购买国际品牌出了问题也不需要承担责任，以至于不惜付出巨额的采购费用。

我国有着发达国家的贸易额，却有着发展中国家的贸易结构；品牌决定了中国只是贸易大国，而非贸易强国。要扭转这个被动局面，不是靠一小部分名牌产品、短时间的质量保证来实现的，而是需要众多的企业持之以恒地维护和提高产品质量，同时也需要国家真正从根本上进行扶持。大量依赖国际品牌将成为我国自主品牌发展道路上的巨大障碍，使我国自主核心技术产业化发展陷入困境，而大部分利润流入国外厂商手中，使我国经济蒙受巨大损失。

要发展民族品牌，缩小与强国之间的差距，政府在政策上的支持责无旁贷。政府采购应充分为国有品牌提供合理的发展机会，并发挥其导向作用，实现国产机床发展的良性循环。政府通过对国有品牌的合理采购及应用，为国产机床在国家核心领域中提供更多的发展空间和品牌认知，从而引导国有大中型企业、先进制造业合理采购国产机床，从根本上提高国产机床的市场竞争力，以取得良好的经济效益。政府采购支持国产化，能够有效保持民族产业的可持续发展与自主创新产品的可延续性。使用国产机床，可切实缩短采购周期，有效降低设备采购和维护成本。

建议政府在符合 WTO 规则的前提下，运用政府公共采购、公共财政政策，创造条件使国产先进的数控机床产品进入政府采购系统，鼓励以央企为代表的国

有企业在技术采购与服务采购中更积极地选择本土企业的产品和服务，在技术和服务能够满足要求的条件下，优先采购国产产品与服务，激活企业对技术创新的投资和内在需求，地方政府可以通过预算控制、招投标等形式，尽可能优先采购国内产品，同时也要促进企业和用户紧密联合，实现共赢。政府要依靠和发挥国有经济的作用，通过国有企业实现宏观调控，与外资企业抗衡，稳定市场秩序，维护公开、公平的市场竞争，保证经济社会发展目标的实现。要用经济杠杆平衡和鼓励企业采用自主研发技术装备，有目的地增加对企业技术创新的引导，对企业的研发投入进行宏观导向和为企业研发成果创造稳定的市场空间，并以适当的形式对积极采购和使用国产机床及服务的企业给予一定奖励。出台相关国家财政补贴和贴息贷款、项目投产后若干年内减免税等优惠政策；对于国内尚不能成套提供的装备、国家急需建设的重点工程项目，国内首批自主制造依托工程的设备由国家给予风险担保。企业应该以此为契机，主动与用户进行深度工艺研究及合作，真正把产品做精，把服务做好。

政府应进一步促进产学研用联合研发，充分利用学校与企业、科研单位等多种不同教学环境和教学资源以及在人才培养方面的各自优势，把以课堂传授知识为主的学校教育与直接获取实际经验、实践能力为主的生产、科研实践有机结合。产学研用相结合的本质，是促进科技、教育与经济的结合，是以企业为主体，以市场为导向，是将技术创新作为出发点和落脚点。用户直接参与产学研合作，不仅能够减少技术创新的盲目性，缩短新产品从研究开发到进入市场的周期，而且能够有效降低技术创新的风险和成本。政府应出台相应激励政策，对产学研用联合进行科研开发、市场开拓方面实现重大技术突破和科技成果产业化的相关单位，给予所得税税收抵免。

鼓励以企业为主体，科研机构、高校相互联动的技术创新联盟，根据优势互补、利益共享的原则，实现技术资本、产业资本和人才资本的优化组合。通过承担国家各种研究科研项目，强化市场意识、整体意识、效益意识和创新意识，为企业发展提供技术支持。通过开展技术开发、技术咨询、技术转让、技术服务等技术活动，拓宽资金来源渠道，提高研究开发水平。要与企业的组织结构和发展规模相适应，兼顾企业的远、中、近期研究开发。政府可根据国家产业相关政策，进行财政资助和税收优惠。

5. 鼓励科技攻关，加快实现产业化

我国机床行业在技术上虽然经过了仿制阶段、引进技术消化吸收阶段以及现

在的再创新阶段的快速发展，但是还存在许多不足和不完善的地方。比如，在可靠性和精度保持性方面与国外先进企业产品存在明显的差距，虽然部分机床的性能比较先进，但可靠性不高，不能长时间保持高精度加工，因此用户不愿接受。另外，科技研发与生产工艺创新不能紧密结合，产品的先进性和制造水平与国外先进企业产品相比仍有很大差距，在自动化、集成化、信息化和智能化以及专门化、绿色化等先进性能方面差距明显；核心关键零部件和基础配套件技术水平和生产水平均不高，致使整机产品性能和稳定性均较差。

未来 5 ～ 10 年应加强数控机床可靠性和精度保持性技术的推进工作，研究数控机床的可靠性分配原则和计算方法、故障发生模式及判断依据，研究精度寿命设计原理和提高措施，制定相应可靠性和精度保持性测试规范，建立统一的可靠性和精度保持性评价体系，使数控机床产品的可靠性和精度保持性指标达到或接近国际先进水平。

发达国家、特别是新兴工业化国家，如美国、德国、日本、韩国及我国台湾地区等，都拥有强大的从事产业技术研究的国立和地区研究机构。如：美国国家标准与技术研究院、日本工业技术院、德国弗朗霍夫应用研究促进会、韩国生产技术研究院、中国台湾工业技术研究院，从事共性、基础性、前瞻性、关键性产业技术的研究开发。这些机构在弥补市场缺陷，加速技术扩散，推动企业创新方面，发挥着不可替代的国家技术基础平台作用。

我国关于促进产业结构调整的原则是“以自主创新提升产业技术水平”。日本的《机械工业振兴临时措施法》把着眼点放在扶持企业核心竞争力上，是为企业建立“造血”功能，加强设计规范、设计方法、基础工艺、制造工艺、试验规范等共性技术的研究。

政府应鼓励企业和科研院所积极申请国家科技项目，并在基础共性研究、产业化研究等方面给予配套资金的支持和落实。从中央发展基金中安排专项资金用于支持数控机床的新产品研发、技改等。鼓励企业在技术引进的同时，大幅度增加技术消化吸收的投入，提高技术消化吸收经费占企业科技经费支出的比重，对企业引进的关键技术和装备进行消化吸收和再创新。

建议在我国自主创新的产业技术政策的要求下，鼓励企业加大研发投入和更新制造装备，利用税收政策激励企业提高自身的技术研发和创新水平，对企业研发新技术所需关键工作母机、关键零部件提供减免关税和进口增值税，增强企业的收入能力，减小利润风险。对自主研发的高性能产品给予产业化支持，鼓励企

业将产品积极应用到新兴产业，对真正满足高端市场需求的企业提供税收政策上的优惠。

9.1.2 发展环境方面积极推动

1. 以产品质量作为行业发展的根本

《工业产品质量发展“十二五”规划》（以下简称《规划》）是我国第一个关于工业产品质量的专项规划。在《规划》中分析了工业产品质量发展的现状与面临的形势，明确了质量工作的指导思想、基本原则、工作目标和任务措施，对推进“十二五”时期质量品牌工作具有重要的指导作用。在国务院印发的《工业转型升级规划》中也开设了质量品牌专栏；在工业和信息化部发布的55个行业规划和专业规划中都提出了质量工作要求。

与国际知名品牌的先进水平相比，我国数控机床质量发展还存在许多问题。比如：产品质量差、档次低、可靠性不好；技术标准水平低、行业贯彻不全面；产品技术含量不高，品牌附加值低，市场竞争力差；企业质量责任意识不强，质量安全保障体系不完善，管理不规范，质量信誉度不高，质量管理能力薄弱等。

产品质量是企业打造品牌的基础。今天的消费者不仅需要高质量产品，更需要知道所购买的产品在哪些方面能为他们带来附加值。现在大家对质量在经济社会发展中的战略地位和基础作用的认识已有所提高，但当今数控机床呈现高效化、集成化、复合化、专业化、智能化、绿色化的特征，因此影响产品质量的因素越来越多，与消费者对产品质量的内在要求越来越高之间的矛盾日益突出，而我国机床工业基础相对薄弱，不同层次消费需求差异很大，客观上增大了质量品牌建设的难度，面对日趋激烈的市场竞争，为抢夺市场而将未经充分试验验证的新产品投放到市场的情况越来越多，造成产品质量安全风险日益凸显。要提高企业经济效益，必须重视质量效率，而不仅是追求工业生产总值。

品牌既是进入行业的壁垒，也是进入行业的手段。由于我国数控机床产业缺少自主知识产权和品牌影响力，加之居高不下的制造成本，以及同行业间同质化产品的价格恶性竞争，造成许多企业的产品利润率很低，甚至影响生存发展。国家提出加快工业企业转型升级，就是要破除发展壁垒，释放发展空间，通过开发产品、培育品牌、提升质量、降低成本，提高工业增加值率，推动工业企业实现集约高效的健康发展。要发挥企业在质量品牌建设中的主观能动作用，增强企业质量品牌意识，营造有利于质量品牌发展的社会环境，以期达到应有的效果。如果没有自己的强势品牌，核心竞争力也就无从谈起，打造优势品牌才能增强我们

国家的竞争力，走上我们的强国之路。

我国机床行业的发展历史，虽然没有欧洲国家动辄百年历史之久远，也没有美日国家早期发展之快速，但是我们在20世纪五六十年代就已经拥有自己的民族品牌企业“十八罗汉”，当年我们通过引进技术、合作生产等方式，许多产品已经进入到当时的世界先进行列。然而，目前机床行业的现状是当前我国数控机床产品与国际先进水平差距越来越大，应用领域相对低端，主要表现在产品质量没保证、需求量不稳定、产品研发投入少、品牌宣传力度小、营销手段不成熟及服务不够专业等，特别是为用户提供整套解决方案的能力薄弱。

产品质量问题一直是我国数控机床产业发展中存在的一个“顽疾”，它不单是技术上的产品质量问题，还涉及企业的诚信与社会责任。我国数控机床行业应从以下几方面提高质量和发展品牌，不仅要生产出高质量产品，还要能培养出高素质人才，这样才能保证企业持续发展。要实施质量兴企战略，促进企业完善质量保证体系、提高品牌建设能力和技术创新能力，不断提高产品档次和竞争力；完善质量管理体系，提高产品质量；注重新产品开发，进一步优化产品结构；注重品牌建设，增强产品影响力；注重技术进步，为企业转型升级提供保证，以实现由“中国制造”向“中国创造”的转变。

1）打造自身独特的企业文化和风格形象。从文化概念、产品品质、视觉风格及专业服务等方面全面提升。倡导质量文化，讲诚信，负责任，维护质量大堤，珍惜品牌信誉，努力把自己的品牌做大做强。通过技术革新，把产品做到最好，把握特色，超越同行，成为产业领先者。我国企业自身有一些自己独特的经营管理理念和经验，但是没有上升到理论层面，需要政府鼓励和企业自主的整理、总结出来，供大家学习和参考，决不能一味地跟着国外的思路走，这也是实现中国创造的很重要的一部分。

虽然我国已成为名副其实的制造大国，但实际上我们对世界影响还非常小。无论在技术进步还是企业发展方面，基本上是以模仿、学习国外为主，受国外影响很大，在中国制造的产品和服务中，很少体现出中国的文化内涵和精髓。我国有五千年的传统文化和优秀文明，有非常多的东方智慧和非常深刻的思想，企业的价值观应该是以满足消费需求为核心。办企业确实是为了赚钱，而赚钱的前提应是满足消费者的需求，而不是以满足自己不断扩张的野心为目的。义大于利，已经远远超过了西方经营者的境界，是我国古有的道德观和价值观，我们完全可以走出自己独有的中国创造之路。

2）培育自主品牌。从产品竞争、价格竞争转向质量竞争和品牌竞争，加大品牌宣传，形成具有市场占比度、知名度和美誉度的品牌产品、品牌工程、品牌企业。品牌最早的概念是一个烙印，在产品上打上一个记号，品牌的实质是品质＋牌子。品牌规划是为企业的战略规划服务的，每个品牌应有属于自己的独特属性，只有真正踏踏实实地做产品，琢磨产品品质和消费者价值，具备一定的自主研发能力与技术整合能力，以及对用户需求与体验的敏感，一个有竞争力、有市场感召力的自主品牌才可能诞生。品牌的打造需要很长的周期、很多的资金和很大的精力，是一步步走出来的。首先要做好中国市场，在中国这个巨大的消费市场中，如果我们的数控机床能够拥有自主品牌并占据一定份额，将对产品发展和企业进步起到促进作用，为快速跻身国际品牌阵营打下基础。并不是只有生产高端产品的品牌才能成为国际品牌，关键是产品品质不能低，对于我国大量的中端甚至低端数控机床生产企业，只有严抓质量，提高产品可靠性和稳定性，注重安全性，将低端产品做成精品，同样能够产生具有影响力的自主品牌。

企业生存的核心价值是品牌，可以说品牌是赢得 21 世纪竞争的“核武器”。世界上经济发达国家，无不拥有大量优秀的品牌。比如，美国拥有世界上 1/2 的优秀品牌；日本同样拥有大量世界品牌，特别是制造业和电子工业；韩国也拥有一系列制造业的强势品牌，而我国这方面差距巨大。我国自主品牌普遍缺乏一个系统的、长久的规划，无论是控制成本，还是加大产业化，特别是对自己品牌的培养，更是缺少对行业本质与消费者心智资源的剖析，使自己的品牌无法很好地壮大起来。品牌是依附于好的品质之上的，一旦没有品质，品牌将是无源之水、无本之木，很难有持续的发展；品牌又是发现价值、创造价值、传递价值的一个经营策略体系，需要有一个长期的战略心态。我国数控机床企业，要打造具有中国传统文化内涵的民族品牌，树立真正有持续影响的优秀形象，就需要全行业的努力，做强产业，做精产品，做好服务。

企业应彻底改变粗放的经营管理模式，走规模化、集约化、专业化、现代化企业发展之路，大力引进高素质的技术和管理人才，以产品质量为本，不断更新技术水平、工艺水平和生产装备，制造过程精益求精，建立同类产品的国际质量标准和完善质量标准体系，把质量作为产品品牌的支撑点，坚持打造自己的品牌，满足客户的需要。

3）提升产品品质。在产品同质化时代，仅质量过硬还远远不够，必须随时保持领先，走在时代的前沿。但产品质量是必要条件，建立与完善产品品质标

准，在保证产品质量基础上追求超群品质，是强势品牌孜孜以求的目标。在企业内部要创造一种重视产品质量的良好氛围，建立奖惩结合的激励机制，强化生产过程质量管理，建立自检、互检、专检制度，做到不合格品不入库、不出厂。加强试验环节，把早期故障排除在出厂前，提高可靠性和耐用性。加强标准化建设，完善生产管理模式，促进产业化经营。制定生产技术规程、管理技术规程、试验技术规程，完善原材料、工具、工艺、设计、管理等配套标准，形成产前、产中、产后标准体系和安全管理体系框架。建立产品生产管理制度、产品质量检验检测制度等，采取“统一组织、统一采购、统一管理、统一销售”的方式对生产关键点进行控制。

品牌是以产品为载体的，新产品是随着技术的进步、市场需求的变化和企业不断的改进而推出的。产品的质量和性能才是品牌的根本，品牌的永续靠的是产品创新和不断地满足客户的需要，在保证产品质量的前提下，品牌具有增加产品附加值的能力。

4）提高技术含量。采用先进技术，借用别人的成功经验让自己快速成长，不断创新，生产出更多更好的令消费者满意的产品，让产品升值。要深入研究用户行业产品工艺的特点和要求，结合工艺特点开发满足用户需求的新产品；要注重基础理论的研究工作，加强关键零部件的实验研究，加强对整机的运转试验和售后跟踪服务工作；要加快产品改进和完善工作，缩短产品上市时间，早日形成产业化。客户需要的是价格低、服务优、质量好的产品，要想保持自己品牌的竞争力，就要不断更新换代，挖掘品牌原生力；要想保持品牌发展，就要不断开发新产品，占领更大市场。

5）提供专业化服务，为用户提供超出其期望的产品品质和服务。高品质的内涵包括了功能、特点、可信赖度、耐用度、服务度、高质量的外观等多个方面。消费者往往认为服务好的品牌，一定是质量好的品牌。机床厂应为用户提供更多更细致的服务，与用户的关系从简单的交易关系升级为深入的、风险共担、利益共享的合作关系，并承担不同的市场角色。机床企业应有能力为合作者提供有针对性的经营建议以改善其经营情况，提升其盈利能力。应将简单的销售产品行为升级为与用户的双向互动行为，使用户主动参与产品的研发、制造和试验，利用用户已有的工艺经验，通过对用户工艺的研究，设计出能更好地满足用户需求的产品。要加强与用户间的沟通，加深用户对产品的印象，培养用户对产品更深刻的感情。

拥有持久友好的客户关系就意味着企业有一群忠诚于品牌的客户群体，当品牌和客户之间发展到一定阶段的时候，他们两者不仅是一种商业关系，而更多的是一种情感关系。据统计，大部分企业收入的 80% 是由 20% 的大客户带来的，关键客户的价值支撑了企业的品牌价值。品牌的永续，不仅要以产品的质量、技术为基础，而且要有客户资源，同时要维护和管理好与关键客户的关系。关键客户是企业的生存之本、发展之源，他们和品牌建立起了一种长久信赖的关系，愿意长时间地购买同一个品牌的产品，愿意为这个品牌投资，企业也将从他们身上获得很高的利润回报。

6）锻造精英团队。企业要构建战略层面的信任，必须要有一定的培训和投入，要信任员工。要求对客户完全地诚实和坦白，更要信任客户，忠诚于客户，必须要建立面向客户的标准的营销服务体系，并且具体到每个组织层面，保证整个公司信任传递和履行标准。要打造高水平的员工队伍，更好地为客户服务，并在服务中以客户为导向，给客户以特别的关注。当客户从体验中得到满足，并认同了品牌的价值时，他们会将这种“物有所值”的满足，通过语言或行动传递给其他顾客，客观上帮助企业传播了品牌，这种传播往往比广告更经济、更具有说服力。

7）建立符合市场要求的营销体系。企业应科学分析市场发展现状，以合理的价格，绿色环保理念，给消费者提供安全、有效的产品。对产品定位应准确，不贪大求全，追求专一，精耕细作，集中经验、优势，通过有效的差异化定位开创自己的领域。产品质量和优质服务是品牌的根本，是企业保持竞争力的关键，企业需要建立强大的销售网，以强化宣传的方式，把品牌灌输给用户，以提高产品品牌的知名度、美誉度，不断扩大产品的市场占有率，提升品牌无形资产的价值，促使品牌成长壮大，使产品在性能相同的情况下也能卖出更高的价格，体现出品牌的竞争力，也就是提高企业的竞争力。

建立一支高素质的销售队伍，在企业的产品具有很高的技术含量的前提下，使营销过程中面对客户时，能释放出更大的优势。比如制定合理的销售流程，强调产品多样化有利于满足客户特殊需求，配合低成本的订货处理系统等。加强战略互补的营销体系，形成一个连接紧密的营销链，将各项运营活动以能创造真正经济价值的方式进行相互补充，可以产生最大绩效，创造出竞争优势和出色的赢利能力，使企业超出业界平均利润而获得溢价。

国家应鼓励和指导企业全面推进质量工作，推进企业从研发管理、生产管理、市场营销管理、供应链管理、人力资源管理、财务管理、信息管理等方面进

行管理创新，要营造质量品牌发展的环境和条件，承担产品全寿命周期的质量责任，追求卓越；推动落实企业的质量主体责任，引导企业增强质量责任意识，规范与质量责任相关的行为，让诚信经营成为全体员工的共同理念和行为准则；通过推广先进质量管理方法，支持涉及质量品牌的技术改造项目等工作，提高企业质量品牌工作的能力，加强技术创新和质量改进，积极采用适宜的先进质量标准，不断提高产品和服务质量水平，为全球消费者提供满意的产品和服务；要加强质量品牌研究，用科学的理论、方法和经验指导企业，支持行业自律管理，将履行质量承诺、追求质量诚信作为企业发展不懈追求的目标。推动数控机床制造过程的自动化，使劳动生产效率、产品技术水平和质量得到显著提高，能源、资源消耗和污染物的排放明显降低，实现绿色制造。

实施质量品牌提升工程。鼓励企业建立专利联盟，联合构筑专利共享平台，拥有关键技术和前沿技术的知识产权。建立并完善高端装备及其技术、关键系统、零部件的研发、试验验证及知识产权保护体系。大力推动优势企业实施品牌强企、国际化发展战略，积极开拓海内外市场，强强联合，跨国跨地区并购重组，做大规模，做强实力。鼓励和支持企业在质量、安全、环保等方面采用国际标准和国外先进标准，强化高端装备可靠性技术研究与应用，提升装备产品质量和安全性、可靠性、实用性。鼓励企业提升品牌层次，扩大品牌影响，支持自有品牌在境外的商标注册和专利申请，促进自有品牌跨国经营与国际化发展。

建立和完善标准体系。补充和修订国家标准、行业标准和企业标准，促进新技术、新工艺、新设备、新材料的推广应用，使我国数控机床产品的质量、安全、节能、环保等逐步达到国际先进水平。从设计、工艺、生产管理、采购、装配、试验、质量控制、用户服务等各个方面，加强企业规范化管理。增加资金支持，提高设备性能和生产产能，探讨对国内外购件及零部件等外包项目的批量采购方式，为数控机床产业实现快速和高质量配套降低成本。充分借鉴并购和合资机床厂的经验，根据各企业特点，制定各自的企业标准和规范，用于指导设计、生产和服务，并将企业标准的制定和执行情况纳入企业考核内容，政府进行有效监督。企业标准应高于国际标准、国家标准和行业标准，并且要有具体的可量化指标。

加大国家对数控机床的监督抽查力度。我国数控机床企业生产量相对较少，且同质化严重，不易按要求抽查到多品种样品，造成监督不够全面。在国家监督抽查过程中，除了强制性的安全要求以及技术指标和产品性能外，还应包括生产

质量和精度寿命、产品可靠性、加工一致性等的监督，要进一步完善相应的技术标准和管理标准。另外，抽查的产品根据性能指标划分出高中低档，同档产品才具有可比性，高档产品可与重大专项对接。同时还要靠企业和市场自主控制质量，这样多方配合，就一定能把产品质量提升上来。

提高制造过程信息化水平。加快推进制造过程信息处理、生产控制、资源管理、质量检测、环保处理等典型环节的流程优化再造，提高安全和综合效益、降低能耗、减少污染物排放，大幅度提高制造过程信息化水平。加快推进信息化综合集成和协同应用，促进两化融合条件下的企业发展模式创新。

2. 以技术创新推动产业持续进步

党的十七大报告明确指出："提高自主创新能力，建设创新型国家。这是国家发展战略的核心，是提高综合国力的关键。"

在"十二五"规划中，已明确将自主创新战略作为最主要的一个组成部分，着重强调了要以技术创新工程来支撑和引领行业发展。我国机床工具行业的发展必须立足于自主创新，通过自主研发原始创新、引进技术消化吸收再创新、集成现有技术创新等方式，实现关键技术突破和产业升级。构建和完善以企业为主体、以市场为导向、产学研用相结合的技术创新体系；坚持加大研发费用投入；加强关键技术、共性技术的研究，力争在基础和共性技术攻关上有所突破，提高产品开发技术水平。

自主创新能力的高低，决定着一个国家、一个民族的进步，决定着一个企业的生存和发展。提高自主创新能力，就是增强企业市场的核心竞争力，对我国数控机床企业来说尤其重要的是充分利用国际上的科技资源来进行技术创新。

美籍奥地利经济学家熊彼特（J.A.Schumpeter）认为，创新就是把生产要素和生产条件的新组合引入生产体系，即建立一种新的生产函数。创新就是发明创造的第一次商品化。他把创新活动归结为五种形式：① 生产新产品或提供一种产品的新质量；② 采用一种新的生产方法、新技术或新工艺；③ 开拓新市场；④ 获得一种原材料或半成品的新的供给来源；⑤ 实行新的企业组织方式或管理方法。技术创新是指人类通过新技术改善经济福利的商业行为。技术创新不是纯技术概念，而是一个经济学范畴。

经济与合作发展组织（OECD）定义的技术创新是"包括新产品和新工艺，以及原有产品和工艺的显著技术变化。如果在市场上实现了创新，或者在生产工艺中应用了创新，那么创新就完成了。"经济合作与发展组织（OECD）把研究

开发定义为："研究和实验开发是在一个系统的基础上的创造性工作，其目的在于丰富有关人类、文化和社会的知识库，并利用这一知识进行新的发明。"研究开发是创新的前期阶段，是创新的投入，是创新成功的物质基础和科学基础。

技术创新是经济增长和经济发展的原动力，企业是经济增长和经济发展的载体，企业的技术水平和技术创新能力，不仅直接决定企业竞争力，并且对整个产业和经济的发展有着重要的基础作用。国有企业，特别是规模以上国有企业应依据市场需求变化和市场竞争格局合理选择适合企业发展和产业进步的创新目标，作为面向市场的主体，成为推动技术创新的主导力量。

我国数控机床产业经历了半个多世纪的发展，通过对产品的仿制生产、试验改进及研究开发，拥有大量的自主知识产权技术，摸索并掌握了许多基础技术和理论方法，具有一定的技术创新基础。国外工业发达国家，更是投入大量人力、财力和物力进行科学研究，形成了完善的技术研发体系，产生了一大批基础理论和实用技术，为我们站在巨人的肩膀上进步创造了条件。

在市场经济条件下，要生存和发展，就必须争取市场，要扩大市场，就必须在成本、产品质量和价格上占优势，这就迫使企业必须进行技术创新。技术创新可以降低成本、提高产品质量和经济效益，使产品在市场竞争中占据优势，获得更大的超额利润。企业进行技术创新的主要动力是获取高额利润，只有当对经济前景有乐观的预期时，才愿意进行技术创新，这就要求宏观经济能稳定增长。政府的主要经济职能就是稳定经济，减小经济波动。完善的社会保障制度是企业进行技术创新的后盾，否则，技术创新的风险将使一些企业难以承受。

数控机床行业的技术创新作为一种最基本的行业行为，涉及许多方面，我们主要从产品创新、工艺创新和管理创新方面考虑。产品创新是指改善或创造产品，进一步满足顾客需求或开辟新的市场；工艺创新是指改善或变革产品的生产技术及流程，包括新工艺和新设备的变革；管理创新是指改善或创造更好的组织环境和制度，使企业的各项活动更有效。

产品创新的目的是以现实或潜在的市场需求为出发点，以技术应用为支撑，开发出适应市场的产品，高效率、高性能和低成本将是产品追求的目标，满足或扩大市场需求，实现产品的价值，最终获得超额利润。产品创新可分为新产品研制和已有产品的改进。但不管怎样的创新方式，都是企业为了向市场提供满足需求的产品，从而带来良好的经济效益。现在我国数控机床企业的产品创新主要表现在基于用户需要而进行的功能上的扩展和技术上的改进，或者基于新技术的应用而

改进产品性能，从而提升产品品质，可以说是技术推进和需求拉动共同作用的结果。对于改变用途和设计或使用原理有显著变化的全新产品创新却很少涉及，然而全新产品创新却往往带来制造业工艺或技术的质的改变，使其踏上一个新的台阶。通过产学研用的合作及自身的努力和探索，突破核心技术，完成技术创新的商品化和市场开拓，向新兴产业推出满足需求的全新产品是我们数控机床行业应当倡导和努力的方向。

工艺创新包括新工艺、新设备及新的管理和组织方法的技术重大变革。从提高产品质量、减少废品、节约资源、降低成本、利于环境等方面入手，通过工艺技术、工艺管理和工艺纪律三个方面进行协调创新，生产出独具魅力的高质量且价廉物美的产品，并提供优质的服务，从而拓展市场、扩大销售，提高企业经济和社会效益。工艺创新的生产者也是创新的使用者。

管理创新是通过企业管理制度的革新，变更支配员工行为和相互关系的规则，变更企业与其外部环境相互关系，提高管理效率，有效地整合企业内部资源，保证产品质量的提高、产量的增加、成本的下降和利润的增长。并在追求超额利润的同时，追求企业可持续成长，激发员工的积极性和创造性，推动企业技术进步，最终推动行业发展。

数控机床产业的发展，不仅需在应用技术层面上与国外的产品进行竞争，还要在基础技术上获得突破，全面掌握关键核心技术，实现产品创新，同时降低成本和提高产品质量，才能使企业获得经济的增长和产业的健康发展，从而壮大我们的民族工业。

数控机床产业技术创新策略主要有以下五个方面：

1）为适应数字化制造的发展，作为主要制造装备的数控机床和数控系统，需具有柔性化（Flexibility）、联盟化（Federalization）、新颖化（Fashion）；集成化（Integration）、信息化（Information）、智能化（Intelligence）；系统化（System）、软件化（Software）、个性化（Speciality）等特性。

2）数控机床及其制造系统的三个主要发展方向是：以全面高速化为先导，推进加工精度稳定达到微米级的“μ级工程”，发展高性能高可靠性功能部件，提高数控机床综合性能，研发适应汽车工业等需要的高效精密机床；发展复合功能数控机床、缩短过程链，适应单件、中小批生产的高效柔性制造；研究基于生产线布局和制造装备可重构的快速制造系统是大批量生产的最佳方案。图 9-1 所示为国产数控机床与汽车制造业对数控装备在效率和精度方面需求的比较。

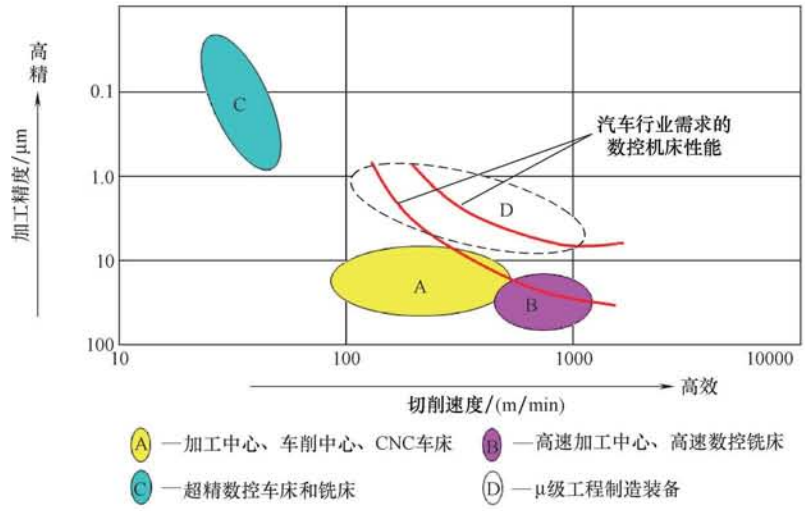


图 9-1　国产数控机床与汽车制造业对数控制造装备在效率和精度方面需求的比较

3）建立明确的可靠性增长目标，采取简约的结构设计，通过可靠性测评实验，确定薄弱环节和改进措施，重视选购高品质配套件、严格控制制造质量，发展人机友好操作界面以及加强维护和注重维修故障分析，将有利于数控机床可靠性的增长，使平均无故障时间（MTBF）达到 2 000h，实现数控机床产业技术的跨越。

4）持续提升数控机床的加工精度，根据市场的需求进行持续提升，要注意精度与高效、高速及经济性的协调发展。超精密微细加工呈现出应用领域扩大趋势。

5）加强研究和发展适用于汽车、摩托车和工程机械等关键零件加工的高效精密数控机床；适用于航空、航天和高速列车框架及大型模具的高速大型专门化数控机床；适用于发电、船舶、冶金和军工等重型机械加工所需的大型和重型数控复合加工机床；适用于军工、航空航天、能源和微电子等精密非球面镜零件的数控超精密加工机床；适用于机床主轴、导轨等高精度偶件加工的数控专用工作母机等。

国家应推动健全产业创新体系，依托科研院所、高等院校和检测机构等现有资源，推动行业检测试验公共服务平台建设，鼓励组建企业主导、科研院所和高等院校参与的产业技术创新联盟，支持产业技术平台和技术创新服务平台建设，不断提高技术创新水平，增强为全行业服务的能力。加大技术创新力度，抓紧抓好高档数控机床与基础制造装备的科技重大专项的实施工作，加强与战略性新兴产业重大创新发展工程的衔接，突破和掌握关键核心共性技术，实现产业健康可持续发展。加大研发力度，鼓励产学研用相结合，提升企业技术水平，鼓励企业

与国外研究机构开展合作研发，引进国外先进技术和人才资源。加快推进数控机床高精高效化、模块化、标准化、复合化、柔性化和智能化发展，不断提升数控机床的可靠性和精度保持性，满足市场需求。加强军民创新资源集成融合，支持促进技术成果工程化，为提升数控机床产业化能力提供强有力的支撑。

如果设计和工艺没有充分试验和验证的经验积累，标准制定没有试验研究做基础，做出来的产品永远心里没底。应着力打造专业化制造平台，在不断满足客户个性化需求的同时，提高自身的规模和专业化制造水平。加强新技术、新工艺方面的研究，逐步形成有分工、有协作、多领域、全方位的科研开发格局。应建立绿色设计和制造产品评价体系，积极制定企业标准和行业标准和国家标准，并将低能耗和低污染作为产品性能的评价内容之一。

政府应切实给予资金投入，创建公益性的数控机床可靠性和精度保持性试验测试和评价中心，以已有研究成果和重大专项支持的技术发展为基础，对整机、关键功能部件和数控系统的可靠性、精度保持性及抗干扰能力进行全面试验，通过大量试验积累数据，建设试验数据库和故障数据库，开发数据分析和处理软件，编制试验及测试评价规范和可靠性设计指导手册，制定数控系统抗干扰评定规范，以增强关键功能部件研发能力、提高产品集成化水平和数控机床整体性能，指导设计改进和制造工艺提升，为提高产品可靠性和精度保持性提供科学依据，为产品标准的制定提供试验数据。建立产学研用合作机制和有效的成果共享制度，为技术创新能力的提升奠定基础，为培养人才和改进产品技术水平提供平台。

逐步推动两化融合，通过大量试验数据的积累，确定数字化设计和分析的边界条件，与数学模型完美结合完成数据库的建立，从而提高分析的准确度，增进设计水平。并通过 CAD/CAE/CAPP/CAM/PDM 技术与 ERP/SCM/CRM 管理相结合，进而实现数字化制造。

企业在技术创新过程中形成的知识产权，是企业核心能力的重要组成部分。应将知识产权保护纳入国家战略，加大知识产权保护力度，维护市场公平有序的竞争，维护企业技术创新的成果。

国家应从财政、信贷、公共投资等方面保证技术创新的资金供应。

3. 以自主增长和对外合作相结合实现产业跨越式发展

党的十七大报告提出要全面落实科学发展观，着力把握发展规律、创新发展理念、转变发展方式、破解发展难题，提高发展质量和效益，实现又好又快发展，并将提高自主创新能力、建设创新型国家作为“国家发展战略的核心”。从

经济增长方式转变到经济发展方式转变，实现经济内生增长。

进入“十一五”以来，国家相继颁布了《加快振兴装备制造业的若干意见》《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》《国家装备制造业振兴规划》等。在振兴装备制造业的国策之下，国家出台了一系列政策对数控机床行业进行大力扶持，产业政策、进出口政策、税收政策都极大地推动了数控机床行业近几年来的持续快速发展，在一定程度上保证了行业的快速发展和较高的安全边际。

2010年国务院颁布《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》，高端装备制造、节能环保、新一代信息技术、生物、新能源、新材料和新能源汽车七个产业作为重点领域将集中力量加快推进，国家将加强财税金融等政策扶持力度。有专家预计，未来十年将是战略性新兴产业蓬勃发展的十年，到2020年，战略性新兴产业占工业增加值比重可望达到20%以上。

数控机床企业要成长，价值要增加，一方面可以依靠现有的企业架构，通过内部的改造、革新、挖潜、激励来提高竞争力，扩大市场占有率，提升为客户提供独一无二的个性化产品和服务的能力，持续提高满足客户独特需求的能力，增强企业自身造血功能，强化企业盈利能力，把企业做得越来越大、越来越强，实现可持续的自主增长。另一方面就是通过兼并重组、资本运作等对外合作方式，靠体外输血来谋求更快发展。那些依靠有机方式实现增长的企业具有较高的含金量，其增长的质量更好，盈利的稳定性、确定性和持续性更强。若两种方式相结合，对实现数控机床产业跨越式的发展将起到推动作用。

随着经济和科技的发展，数控机床企业应以可持续发展为基本目标，实现更健康的成长。在产品、技术、知识等创新速度日益加快的今天，发展的可持续性已经成为现代企业所面临的一个重要的课题。企业不仅要生产产品、提供服务，更重要的是要不断提高企业更好地为市场提供产品和服务的能力。企业的可持续发展，能够有效地利用资源，提高对社会财富增长的边际贡献，有利于提升国家竞争力，实现企业、社会和国家共赢。在市场日益开放的今天，面对强大的竞争对手，企业只有通过“稳扎稳打”的方式，采取长期的发展战略，经过漫长的专业技术和管理技术的学习与积累积淀过程，形成自己独特的核心竞争能力，不断地突破发展上限，超越自我，实现可持续发展，不以牺牲未来更大的发展来谋取现在短期的发展，才能赢得利润，获取成功。

自主增长的企业，应依托现有资源和业务，通过提高产品质量、增加销量、提升产品服务水平、拓展客户、扩大市场份额、推进创新与提高生产率等途径，

提升客户满意度、调动员工积极性、强化科学管理水平、增强核心业务盈利能力，从而获得销售收入及利润的自然增长。

自主增长的企业，应以客户为中心，在卖出产品或服务之前，便开始了与客户实际的沟通，并一直把沟通持续到客户购买和购买之后。特别是在这个个性化时代，用户的需求千差万别，在产品成形之前，只有花费足够的时间和用户在一起，听取足够的来自用户的声音，尽可能地为用户提供更加质优、价廉的产品和服务，才可能做到真正满足用户需要，掌握市场主动，为企业创造效益。企业在处理客户的关系时，应注意他们长远的需求，了解客户选择产品或者服务的动机，甚至将客户零散的购买行为进行关联思考，把握客户需求周期，起到拉动销售的作用。

任何产品的生产都不是单一工厂所能够完成的，需要全产业链的分工合作。因此建立完备的产业链，培养大批技巧娴熟的技术工人，充分利用好现有的人力资源，规模生产和个性化生产相结合，经过长期的积累与沉淀，就能够实现持续发展。数控机床产业要实现完备优质的售前售后服务，离不开整条产业链的强大支撑。在做好服务的基础上，整个数控机床产业的未来，掌握在上中下游所有从业者手中。数控机床是一个集机、电、液、气、光、电子信息化、数字化技术于一体的庞大产业，从用户工艺方案研究到机床设计，从原材料到加工，从制造过程的工、夹、量、刃具的应用到机床的零部件装配试验，从安装调试到用户培训，从用户加工零件的生产到设备维护保养，直至设备报废和再制造，整个产品生命周期是一个完整的产业链，只有合理、高效地利用资源，将可持续发展的理念融入整个产业链的运行中，才能将数控机床产业发展壮大。大力推进低碳经济的生产运行模式，从研发、设计、生产、原料采购、物流运输，到营销、订单处理、服务和再制造，建立贯通上、中、下游一体化的绿色产业链，不仅可降低能耗，保证可持续发展，同时也可降低成本和控制风险。企业应在立足国内的同时，提升自身的国际竞争力，才能推动数控机床产业迈向更高阶的发展层次。

针对中小型机床企业的发展特点，中国机床工具工业协会名誉理事长梁训瑄认为，机床工业中的中小规模企业充当了重要角色，不少成为创立世界品牌的中坚力量，宜引导这些企业走“小强人道路”（即“专、特、精”），使其分别成长为各有专长、具有特色、质量精良的企业。企业要以市场为导向调整结构，转变行业发展方式。好字当头，快在其中，努力实现全行业产品结构调整的四个转变：从生产经济型数控机床，向发展中、高档数控机床转变；从以主机生产为主，向主机和特色功能部件协调发展转变；从单机供应市场，向提供完全的解决

方案转变，切实实现发展方式的转变，提高全行业的经济效益和竞争力。各企业应根据市场需要和自身基础作出合理的定位，不宜盲目跟风。当前发展方向宜以做好中档产品为主攻方向，在产品品种方面宜向“专、特、精”方向发展。

企业追求自主增长，并不需要排斥并购与融资等对外合作活动，甚至可能需要那些战略性的、与核心业务相关的并购和融资手段配合，为企业获得新技术、新产品、新理念或者新客户，尤其是一些创新的产品或工艺和管理技术，获得专业能力、产品技术和服务水平的提高。为提高企业的专业化技术水平，实行一体化生产与经营，延伸数控机床的产业链，企业进行与主营业务相关的兼并重组，经过一段时间的消化吸收、协同整合以及再创新过程，会转变成为公司未来的自主增长能力的提高，有效地促进企业更好地自主增长。但是并购行为应是渐进式的，所涉及的金额相对原有企业的市值而言，所占比例应较小。每一次的并购都将总成本控制在可控范围，以控制溢价范围，避免过高的并购成本或当大规模并购失败后可能给企业带来的毁灭性打击。

商务部有关领导在中国企业跨国投资研讨会上曾提出，我国鼓励企业创新合作方式，大力培育中国跨国企业，支持具备条件的企业，通过股权投资和跨国并购等多种方式，加快发展国际知名品牌、先进技术及营销网络，实现规模和市场的扩张，形成一批更具国际竞争力的跨国大企业，发展壮大竞争主体。这充分表明国家鼓励企业利用各种渠道和平台，积极探索合作新模式，融入全球产业链。同时国家也鼓励境外企业和科研机构在我国设立研发机构，支持国外企业和国内企业开展高端装备联合研发和创新。支持国内企业“走出去”，并购或参股国外高端装备制造企业和研发机构，支持国内企业培育国际化品牌，开展国际化经营，多层次参与国际合作。数控机床行业是基础性工业，是国家战略性产业，是立国之本，快速提升我国数控机床行业实力最有效的方法之一，就是与欧美国家的行业领先企业进行股权层面的深度合作，使企业的资产结构、产品结构或企业体制得到优化，企业整体素质得到增强，这样企业将具有更强大的发展后劲。

4. 以用户需求为准绳，提升行业服务能力

从2009年我国开始实施“高档数控机床与基础制造装备”的国家科技重大专项，计划到2020年实现航空航天、船舶、汽车、发电设备制造所需要的高档数控机床与基础制造装备70%～80%立足国内。科技重大专项以及国家培育和发展战略性新兴产业等一系列方针政策的实施，为高档数控机床的发展提供了新的机遇。

数控机床的需求来自于制造业，下游的机械行业固定资产投资，以及汽车

及零部件、航空航天、铁路运输装备、船舶、军工、电子信息、电力设备、工程机械、冶金机械、通用机械、模具等行业产能的高速扩张及产业的优化升级，带动了机床消费的高速增长。在国家振兴装备制造业和国际产业转移的带动下，我国设备工具购置投资增长率在前 15 ～ 20 年保持了 20% 以上水平，预计在未来 5 ～ 10 年内仍将持续维持 20% 左右的水平，机床行业的需求仍将保持高速增长。特别是中高档数控机床，每年将有 10 万台以上的市场需求，市场空间广阔。

但随着机床消费结构进一步升级，对高、中档数控机床和成套成线设备的需求将继续增加，而对普通和中小型机床的需求增长将明显放缓，市场形势要求机床制造企业加快产品结构的调整。对国产数控机床产业而言，需要解决的不是有无问题，而是产品质量、技术含量、工艺水平以及服务能力和整体解决方案的能力问题，产量增长已不是最关键的因素，优化国产数控机床的产品构成、大力提高国产数控机床的整体产品质量和服务能力才是当务之急。

2011 年我国生产数控机床超过 25 万台，数控机床的国内市场占有率达到 57%，虽然大多数是中低档产品的批量投放，但部分高档数控机床已经开始进入重点行业的核心制造领域并得到初步应用，已经取得了重要突破。

不过，对我国数控机床企业来讲，技术进步和管理升级所发挥的作用则相对有限，主要是依靠国家产业政策的支持。现阶段主要解决的问题应是面对国内市场需求结构的加速升级，数控机床企业应提供相适应的产品和服务。

根据 04 重大专项实施计划，重点行业核心制造领域所需的高档数控机床和基础制造装备立足于国内的比例分别为：汽车制造领域 40%，航空航天制造领域为 50%，船舶制造和发电设备制造领域为 70%。根据《高档数控机床与基础制造装备科技重大专项“十二五”实施计划》，2015 年力争将中高档数控系统的国内市场占有率由 20% 提高到 50%，中高档功能部件的国内市场占有率由 5% 提高到 20%。航空航天、船舶、汽车和发电设备制造是国民经济和国防安全的重点行业，也是数控机床行业最重要的服务领域。其中航空发动机、汽车发动机、船用柴油机和核电机组制造等对数控机床有着很高的综合性能要求，为这些核心制造领域提供装备和服务的能力，代表着数控机床制造业的最高水平，也是数控机床行业战略基础地位的价值体现，是机床制造强国的主要标志。同时，机床企业应跟踪战略性新兴产业的发展，并为其提供先进适用的数控机床，为国家发展做出贡献。

目前中国是世界上最大的数控机床进口国和消费国，同时也是生产大国。国内用户对高端数控机床产品保持旺盛需求，但我国高档数控机床产值仅约占金属

加工机床行业产值的 10% ～ 15%，面对巨大的消费市场，国内机床生产企业的技术水平和生产能力均无法满足，大量高档数控机床产品仍需进口，国产高档数控机床在性能、品种、产量和服务等方面与国际先进水平尚存在相当的差距。

应充分发挥市场的引导性作用，加大机制体制创新力度，着力规范市场秩序，营造良好市场环境。建立依托重大工程发展高端装备的机制，鼓励由机床使用单位和制造企业共同开发高端数控机床。建立首台（套）保险机制和示范应用制度，加大对首台（套）及配套系统推广应用的支持。探索建立数控机床产业发展与重大项目审批的联动机制，对于重点领域工程项目的所需设备，组织使用单位、制造企业联合制定联合攻关方案，并加快实施。完善招投标制度，加强对招投标工作的指导和监管。推动配套设备及高端装备维修、支援、租赁、服务等产业配套体系建设。加快建立并健全有利于数控机床产业发展的行业标准和技术标准体系，组织实施数控机床应用示范工程，以应用拉动产业发展。

引导企业在研发、设计、试验验证、系统集成、认证、监理咨询、运营维护、工程承包、维修、维护保养、物流、租赁等产业链前后端开展增值服务，逐步实现由“生产型制造”向“服务型制造”的转变，不断提升现代制造服务的能力和水平，打造提供全寿命周期服务的数控机床产业。

9.1.3 数控机床产业振兴路线图

《2009 年中国工业化报告》中指出，从工业现代化综合指数来看，我国机床工具工业整体上仍然处于世界机床先进水平的低端，同世界机床工业先进水平的目标还有很大的差距，机床工具工业的现代化之路任重道远。在效率指数方面，无论是按照人均销售收入还是按照人均工业产值比较，都同机床先进制造国有很大的差距；在技术先进性指数方面，机床的整体技术水平还比较落后，机床数控化水平不高；在国际化指数方面，机床先进制造国都是机床产品出口大国，而我国机床出口产品多属于低技术和低附加值产品，且出口数量不多；在产业组织合理化指数方面，中国机床企业产值规模普遍偏小，缺乏具备国际竞争力的大企业，机床工具工业的产业组织不合理，生产集中度还有待提高。作为制造业大国的基础工业，提高其现代化水平是我国经济发展的重大战略性任务。

我国数控机床产业还是以满足国内市场为主，自主研发能力和出口能力都比较薄弱，要加快数控机床产业发展，必须打破过度依赖国外进口的状况，加大自主研发能力，培育民族品牌，替代进口，提升出口能力。数控机床产业振兴路线图如图 9–2 所示。

图 9–2　数控机床产业振兴路线图

9.2 技术发展路线图

《机床工具行业“十二五”期间工作要点》提出的三大标志性目标是：着力提升中高档数控机床的市场竞争力，着力提升中高档数控系统和功能部件的配套能力，着力提升面向中高端市场的综合服务能力。

我国数控机床产业经过几十年的不断发展，特别是近几年受益于国家重大专项的强有力支持，数控机床行业涌现出一大批中高档数控机床创新成果，已经形成了良好的发展基础，但是仍存在一些问题。比如：制造装备技术落后，关键工作母机大多依赖进口；行业技术水平不高，创新能力和整体竞争力不强；制造过程中资源消耗大，综合利用率较低，产品在产业化技术和深层次技术上还有较大差距，缺乏市场竞争力等。中高档数控机床虽然市场需求强劲，但因国内数控机床不能满足需求，高档数控机床依然对国外的依赖程度还很高，因此，企业应主动调整战略，集中优势力量解决工程化和产业化问题，竭力做好用户服务，促进创新成果尽快应用，以大力提高中高档数控机床的市场竞争力。

随着技术的不断进步，制造业对数控机床的要求也越来越严格，基本要求是精度高、效率高、能耗少、设备利用率高、环境友好等。因此数控机床需要有宽泛的加工范围、很好的柔性、模块化、绿色化、信息化、智能化和低成本等特点，以满足数控机床可持续发展的需要。

数控机床从产品设计、制造、销售、使用、维修以及回收再制造等整个产品生命周期各个过程，都应实现“绿色”制造，要充分考虑可持续发展，注重环境保护，包括自然环境、社会环境、生产环境以及操作者的身心健康等。要为用户提供低成本、低能耗、短供货期、良好的售后服务的产品，同时我们的数控机床产品应追求宜人性，学习德国、瑞士机床企业的理念，将产品作为一定程度上的工艺品呈现给用户，给人以高尚的精神享受，体现物质文明、精神文明与环境文明的高度交融。

我国数控机床行业在设计手段的提高方面做得不够，虽然有些企业花费重金购买了一些昂贵的设计软件，却没有很好地应用。原因是拥有软件只是面子工程，企业并没有把提高设计能力和水平当做工作常态来抓，只能算是实现了绘图电子化，因此设计仍然停留在经验设计和对比设计阶段。企业应充分利用好CAD/CAE 的设计和分析手段，与大学密切合作，逐步实现创新设计。

数控机床产业不仅能为海洋工程、高速铁路、航空航天以及其他行业零部件

加工提供高端制造装备，而且能够为各行业提供控制系统、成套生产线、机器人等各种高级形式的配套。“十二五”期间，面向航空航天、船舶、发电设备制造业需要的重型、超重型数控加工机床，多轴联动及复合加工机床，高速及高效加工机床，大型、精密数控机床等的生产将高速增长。

9.2.1 以创新设计引领带动数控机床集成设计

实现跨越发展需要转变在产品开发上专注于跟踪模仿的模式，尽管这样做可以规避试制产品的技术风险，并仍可设法保有自主知识产权，但是这种发展方式的盛行，必将为技术的创新发展增加阻力。纵观世界各国机床企业的发展史，虽也有一些是从跟踪模仿起家的，但真正能做到脱颖而出、创出品牌的，都是由于其产品在结构、性能上有重大的甚至全新的创意的结果。

根据技术创新的内涵，可以分为原始创新和集成创新。

（1）原始创新　通常是指其工作原理、加工方法或结构组成具有首创性。例如：随着数控机床的出现，创制了柔性自动化和智能化的新一代机床；五轴联动的加工技术解决了复杂型面甚至雕刻所需的技艺；基于增量制造原理的快速成型制造设备为无模制造模型和零件提出新方法等。

（2）集成创新　一般是指根据需求对本领域与其他领域中适用的结构、功能部件进行集合而成的新产品。例如以铣车复合机床和车铣复合机床为代表的各类复合机床，它能完成一些零件的全部工序，具有集约加工的优点，又如通过对在其他领域应用的直线电机、力矩电机经改进集成后分别构建成高速加工中心和精密数控齿轮磨床等。

相对于原始创新而言，集成创新对技术储备的要求较易实现，因此集成创新将是跨越发展的主流方面。集成创新的关键在于把适用的技术进行融合，因此其方案设计和技术设计是创新的关键，故需通过创新设计来促进和推动数控机床的集成创新。

基于集成创新是一种把不同功能、性能的结构和部件进行综合和优化的过程，因此做好创新设计至关重要。创新设计不能简单地把它归之于计算机辅助设计（CAD/CAE），而需包括构思、分析、验证和改进，并不断完善技术和经济指标的创新过程。因此，提升自主设计的创新能力需要加强开展新加工工艺方法试验，结构静动态仿真分析，关键功能部件的精度、可靠性等性能试验，以及与类似产品的加工和性能的测评对比等，才能发挥创新设计引领带动数控机床集成创新的作用。

9.2.2 以新产品技术推动制造业工艺进步

机械零件的形状概括起来有三类：板类零件、轴类零件和箱体类零件。板类零件的加工主要以压力加工、铣削、刨削、激光切割、线切割等加工机床为主；轴类零件以车削、磨削、旋风铣、滚压等为主；箱体类零件以铣削、镗孔、钻、插、铰、攻等为主。当然这种划分不是绝对的。

伴随着技术的不断进步，以及制造业对高效率加工的迫切需求，数控机床也在不断地发生改变。从单一工位单一工序的加工，到多工位多工序的高效加工，从提高效率和质量的高速切削、复合切削，到不同工艺集成在一台机床上的复合加工和集成制造，从制造单元进化到整条生产线，无不体现着机床行业追求高质量、高效率、高可靠性以及专业化，以降低单件零件制造成本为目标，满足用户不同产品和差异化的具体要求。

为用户提供高附加值零件加工的整体解决方案是机床制造商前进的动力。随着技术的发展，用户的加工零件向着多样化、复杂化和精密化发展，而市场竞争的加剧使制造成本的降低成为首要问题，机床制造企业以其独有的技术优势，不断推出创新的产品以满足用户需求，推动制造业的工艺进步。

从 20 世纪 80 年代以前不断进步的数控精密机床，到 20 世纪 90 年代以后逐渐推出的高效率高精度的多主轴多工位数控机床，进入 21 世纪后推出的一次装夹完成多工序的复合加工，实现多轴联动，直到最近几年逐渐增加的多种工艺集成加工的复合技术，这一系列领先的高端数控机床的制造技术的发展，完整地满足了用户具体要求的整体制造系统，提高了设备综合效率和可持续发展性，为制造业的发展提供了有力保证。

由于现代汽车、军工、航空航天、医疗器械等领域发展很快，许多关键零件为精密复杂异形曲面，加上特殊的材质要求，使其加工具有很大的难度。为解决这些难题，数控机床企业利用新技术，不断推出创新产品，以适应用户加工的需求。

对于汽车箱体类零件的加工，主轴头可立、卧转换的立式或卧式加工中心是这类零件理想的加工设备。为提高生产率和可靠性，机床除了将技术指标提高外，还可增加测试和补偿功能，比如温度变形的补偿、刀具破损监测、零件在线测量、甚至为工艺优化进行的自适应加工，为满足大批量的规模化生产，将多台设备、多种工序集成连线，配置自动上下料机构，零件传输设备，过程检测设备，自动清洗设备、机器人等辅助设备，实现全自动无人化生产，在加工过程进

行自动检测及自动补偿，大大降低工人的劳动强度，提高劳动生产率。

对于叶轮、叶片、曲轴等复杂型面的零件的加工，多轴联动、多工序复合、自动交换装夹工件等功能就显得非常重要。为保证制造精度，将五轴联动的车铣复合加工中心与精密磨床完美融合，甚至结合插拉工艺，激光和振动加工工艺，电化学加工工艺等，可以将零件的加工做到极致。

采用直线电机技术和力矩马达直接驱动技术，代替传统的螺母丝杠副传动机构和蜗轮蜗杆传动机构，无直接磨损，精度更高，热稳定性和尺寸稳定性更好，没有反向间隙，使反应速度更快，响应更好。可立、卧转换的副主轴结构，使加工工艺上更加灵活方便。加强主轴刚性，通过巧妙的机械结构，使主轴轴承所受力部分卸荷，加上合理润滑，可大大延长使用寿命。通过全闭环设计以及独立的机床恒温冷却装置与刀具内冷功能等，均可使机床的加工精度更出色，零件加工的一致性更好。配置易用的加工软件，比如自动对刀软件、预防撞机软件、模拟仿真软件以及各种管理软件等，可以使用户更好地发挥机床的功能并更好地进行操作，以提升设备利用率。

以市场需求为导向，加快我国数控机床产业的转型升级和产品结构调整。引导数控机床制造企业改变传统的外延式发展模式，加强创新能力建设，提升内部管理水平，注重增长质量和效益。围绕我国制造业的需求，研发适应不同地域、不同文化、不同环境的数控机床新产品，并提升产品的安全性和可靠性。

加强资金和政策引导，发挥市场机制作用，鼓励企业开展产业关键技术创新，攻克一批制约产业发展的共性关键技术，实现重点装备的技术突破。坚持整机装备与关键系统及核心零部件协同发展，进一步加强基础性、通用性、前瞻性研究和产品应用性研究。发展一批高起点、专业化、具有国际竞争力的配套企业，开发与研制一批有高技术含量的基础元器件、关键核心技术的部件及系统，提高产品技术水平和可靠性，为我国数控机床产业的创新发展夯实产业基础。

9.2.3 以新材料新工艺技术拉动新产品研制

面对全球能源紧缺，轻量化设计已成为汽车、轨道交通、航空航天、甚至包括数控机床等行业追求的热点，随着复合材料制造技术的发展，复合材料在飞机上的用量和应用部位已经成为衡量飞机结构先进性的重要标志之一。轻量化设计是伴随着低碳经济而兴起的，主要采取两种方式：一是通过改变零件的结构，比如部件薄壁化、中空化、小型化及复合化，继而实现轻量化；二是使用轻质高效

材料，通过采用高强度钢材、高温合金、不锈钢、铝镁合金、钛合金、碳纤维及各种复合材料等进行轻量化设计。高性能纤维的开发，是国家战略性产业及民用经济产业技术提升的迫切需求，其中，碳纤维及其制品以超轻、超强材料全面领先应用于航空、军工、电力、车辆、舰艇、海工、风电等高端领域。

飞机的空机重量每减少百分之一，就能使燃油消耗减少百分之三。用于飞机起落架的大型支柱横梁结构复杂，采用超高强度重量比的钛合金，可大大减轻零件重量，并且提高强度。这种新材料新工艺的发展，拉动了数控机床的发展，为解决钛合金难加工的问题，除了选用优秀刀具供应商的合适刀具外，对加工机床也提出了新的要求，不仅需要多轴联动，更关键的是要在较低的主轴转速下提供较高的功率。

高强度碳纤维有机复合材料的产生及广泛应用，不仅拉动了自动拉挤机、铺带机、缠绕机等材料制作机械的发展，更对新材料加工机床的研制起到了促进作用。复合材料制件成型后，需要进行机械加工，包括下料、外形尺寸加工、钻孔、开槽和切边等，要求具有很高的加工质量，复合材料制件属于脆性各向异性材料，常规的加工方法不能满足加工质量要求。传统的加工方式具有切削速度慢、效率低的缺点，且刀具和钻头等磨损快、损耗大；复合材料易于变形，加工精度难以保证，而且加工时易发生分层破坏等现象。因此复合材料的加工需要大型自动化高压水切割机、超声切割设备和五轴联动数控铣床及钻孔机床等专用设备，并且需配置多点柔性真空吸附夹具，防止刀具对夹持点之间的悬空区域进行切削时加工部位发生震颤，造成铣削深度和表面粗糙度无法控制，以满足复合材料制件经加工后无分层磨损且符合装配尺寸精度的要求。

现代飞机结构设计的特点是重量轻、结构强度高，可提升飞机的机动性、增强携带负载的能力，并能获得更远的飞行间隔，还可以延长飞机的服役寿命。为此，在飞机结构设计和制造中，一些大型复杂的主承力结构件普遍采用了整体化结构，既可以减少零件数目，降低结构重量，又可使飞机的结构效率和可靠性成倍的增长。然而，整体结构件中广泛采用钛合金、镍基合金以及超耐热合金等，这些材料具有强度和硬度高、塑性和韧性好、导热性差、存在微观硬质点、化学性质活泼等特性，属难加工材料，在切削加工过程中刀具所受的切削力和切削热会显著增高，严重制约加工效率和加工精度，而且在整体结构件的数控加工过程中，常由于毛坯的初始应力、结构的不对称性及加工工艺的不尽完善等原因导致工件弯曲、扭曲以及弯扭组合等加工变形；薄壁结构还会产

生失稳现象，严重影响了航空整体结构零件的生产效率和终极产品质量。这一系列问题需要机床、刀具、装夹和工艺的整体系统的解决方案，来实现航空整体结构件的高效、高精度加工。

航空整体结构件在加工过程中，由于切削力大、切削温度高，容易产生振动，因此要求机床具备高刚度、大功率和大转矩的特性，以及更好的抗振能力。机床导轨和支撑件的连接刚度、主轴刚度和强度对保证机床加工精度和提高生产效率尤为重要，通过对机床不同部位的动态特性进行有限元仿真分析，对机床各个系统结构进行优化设计，配合合理的冷却系统、有效的工作空间设计以及多轴联动等功能的实现，最终开发出适合航空整体结构件结构特点和材料加工特性的数控机床，实现航空整体结构件的高效、高精度加工。

随着复合材料越来越广泛的使用以及复杂的整体零件加工，对数控机床的功能、性能、装夹及加工工艺方法都提出了新的要求，一些航空航天推进系统，如飞机发动机喷嘴会用陶瓷涂层增加耐高温强度，必须车、铣、磨同时进行才能保证精度。在加工陶瓷及烧结过的氧化锆等材料的零件时，需要选择合适的刀具及切削参数，由复合磨削来解决这个问题。对于薄壁变形、易产生应力变形等比较棘手的精密零件的加工，需采用真空吸盘固定工作台等装夹方式来实现；对于长径比非常大的零件的加工，需采用双主轴同步夹持工件进行车削等。

9.2.4 以基础共性技术研究奠定产品创新基础

《国务院关于促进产业结构调整暂行规定》中产业结构调整的原则是：以自主创新提升产业技术水平。把增强自主创新能力作为调整产业结构的中心环节，建立以企业为主体、以市场为导向、产学研相结合的技术创新体系，大力提高原始创新能力、集成创新能力和引进消化吸收再创新能力，以提升产业整体技术水平。

《国家技术创新工程总体实施方案》的主要任务包括：建设和完善技术创新服务平台。明确技术创新服务平台的建设要求，突出资源整合和服务功能；按照“面向产业、需求导向；创新机制、盘活存量；政府引导、多方参与；明确权益、协同发展”的原则，构建面向重点产业振兴和战略性产业发展的技术创新服务平台。依托高等学校、科研院所、产业技术创新战略联盟、大型骨干企业以及科技中介机构等，采取部门和地方联动的方式，通过整合资源提升能力，形成一批技术创新服务平台。充分发挥转制院所在技术创新服务平台建设中的作用。加快先

进适用技术和产品的推广应用，加速技术成果的工程化，加强产业共性关键技术的研发攻关，加强研发能力建设和行业基础性工作。提高平台服务队伍的专业化水平。到2020年，技术创新能力明显增强，在重点行业关键设备设计制造方面形成一大批具有自主知识产权的产品和技术，一批重大装备的技术创新能力处于国际领先地位。

要努力提高自主创新能力，推进产业结构优化升级。坚持以需求为导向，着力突破核心技术和关键技术，加强行业组织和协调。争取国家重大科技专项的支持，或参照专项的技术方向加强引导，努力实现优势领域的战略突破。强化企业主体地位，继续加强企业管理，提高集约化水平，建设资源节约型、环境友好型的现代化机床制造企业，实现可持续发展。

因此应开展基础共性技术研究，加强自主创新，实现关键技术的突破和自主发展。发展节能、环保、可靠、高效和高性能的产品。借助已有技术基础和重大专项支持，进一步推动适应数控机床产业发展的共性技术研究和产品开发，使产业快速上升一个新高度。

建立和完善国家重点实验室、国家工程实验室、国家工程研究中心等国家级研发基地，依托企业技术中心，集合产业各种科技资源与研发力量，加速推进研发及产业化进程，提升企业创新能力。充分发挥企业、高校、研究院所与用户的作用，高度重视用户企业的全程参与，开展联合攻关以解决技术难题。鼓励上下游企业广泛开展合作、联合研发，逐步完善以企业为主体、市场为导向、政府持续推动、产学研用合作的技术创新体系，实现创新资源利用的最大化。加强技术创新与体制、机制创新，解决创新人才短缺、创新投入不足等矛盾与问题，强化企业在技术创新中的主体地位，提高企业知识产权的创造、保护、运用和管理能力。

重点突破先进数控系统与伺服控制技术、推进协同设计和制造、研究故障诊断与全面维护技术、可靠性增长技术、安全环保技术、精密制造技术、特种加工技术等共性的关键的智能化技术，加强对系统软件、管理软件、专用加工软件、专用设计仿真软件的研发，为实现制造装备和制造过程的智能化提供技术支撑。开展关键功能部件、工业机器人、精密仪器、气液精密元器件等智能测控装置和部件的研究并推进产业化。研究以汽车行业为主要服务对象的智能制造集成装备，包括缸体、缸盖、曲轴、连杆等。

9.2.5 以工作母机的关键核心技术研发带动技术发展

以已有较好基础的精密龙门加工中心、高精度卧式加工中心、高精度数控万能磨床为突破口，以数控机床上具体的关键零件为加工对象，通过高刚度结构设计、精度优化设计、热平衡设计和抑制振动设计技术、液体静压技术等的研究、高精度制造和装配工艺技术的研究以及空间误差补偿技术的研究等，加以充分的试验验证，突破机床可靠性和精度稳定性技术，目标朝着瑞士 DIXI、瑞士斯图特、德国科堡等高精度“工作母机”产品的方向努力。工作母机精度很高的同时，价格也很贵，但面对全国乃至全球市场，需求量仍然很大。而且可以以自己的产品装备自己，同时可以带动数控机床产业整体技术水平和制造水平的提高。充分强调技术创新过程中的技术利用，重视技术开发和成果的市场转化，打破技术开发成果限于文章、样品的尴尬局面，使产品技术和经济效益的增长具有更可靠的技术保证。各机床企业应针对关键工艺研发母机床作为企业的核心装备。

9.2.6 以信息化、集成化、智能化和绿色化的技术进步提高生产效率

坚持制造与服务并重，重点突破关键智能技术、提高制造过程的数字化、柔性化及系统集成水平，加快推进信息化综合集成和协同应用，促进“两化”融合条件下的产业发展模式创新。在“十二五”期间重点选择在汽车、航空航天、电力、节能环保、国防科技工业、医疗机械、电子设备等新型产业领域，进行智能制造技术、智能测控装备和智能基础制造装备的推广应用，分步骤、分层次开展应用示范，形成通用性、标准化的应用平台，加快推进技术、产业与应用的协同发展。开展基于机器人的自动化成形与加工装备生产线、自动化仓储与分拣系统以及数字化制造车间等一批典型的标志性重大智能制造成套装备研究，依托航空装备、卫星及应用、轨道交通装备、海洋工程装备、智能制造装备等现有产业基础，建设优势特色产业链，促进形成设计、制造、集成、关键系统及部件配套、维护检修、技术服务等能力，满足国民经济重点领域和国防建设的需要。

美国在20世纪60年代后期曾提出了对数控机床进行自适应控制的研究项目，它的目标是可根据加工过程中工件的材质和刀具及机床工况变化自动调整机床的工作参数，以获得最佳的加工效果。这个要求已远高于辅助决策的功能，尤其是

加工过程中因素繁多，不仅建立数学模型困难，而且实时采集和调整参数也有更大的难度。

因此，从20世纪80年代起数控机床的智能化的进展主要集中在以下两个方面：

1）加强信息方面的智能判断，例如系统的故障判别、刀具的寿命管理以及生产调度的优化策略等。

2）针对个别因素构建数学模型在其出现偏离时进行约束控制，例如端面恒速切削控制、恒转矩进给量控制、复杂型面的表面光顺度的控制、运动平稳性的跨度控制、伺服进给系统的震荡抑制、热位移控制以及防碰撞控制等。目前一些先进的数控机床或多或少地采用了这种单一功能或性能的智能控制，这也是我们当前有条件进行重点研究的内容。虽然这是智能化的初级阶段，还不具有较完善意义的智能化，但从历史经验得出这种由简到繁的做法是走向较高级智能化的必由之路。

而下一阶段智能化的发展则需要加强对适用于数控机床的人工智能基础技术的研究，这包括：① 专家系统，发展具有逻辑推理和模式联想的推理机和自学机；② 人工神经网络，提高其推理、联想的快速自学能力等。在此基础上逐步形成具有学习能力和联想能力的更完善的人机智能系统。

有人认为，致力于环保只会增加成本，而不能创造立竿见影的收益，因此不得不在开发可持续产品所带来的社会效益和为此承担的财务成本间做出选择。不少研究表明，追求可持续发展是组织创新与技术创新的源泉，这些创新既能提高利润，也能增加销售收入。企业应通过低碳产品和服务的创新，促进企业与社会的可持续发展，将环保理念和行为贯穿至企业的经营管理、业务发展、日常办公等各个环节，以减少能源消耗和碳排放。通过减少碳排放和促进环境保护的绿色产品的解决方案的研发，强化企业的责任形象，倡导环境保护的理念和可持续发展文化，培养企业和员工的社会责任感，使低碳环保意识在企业运营中得到延伸。比如采取定时关闭机器的措施，使停工一定时间的机床自动进入节电状态甚至关机，以达到节省能耗的目的。所有围绕可持续发展努力的成果，无一不是环境与企业的双赢。当企业建立起环保型价值链后，就会从提高能效、减少浪费中获得财务收益，并使环保意识深深扎根于企业内部，实现可持续发展。数控机床产品技术路线图如图9–3所示。

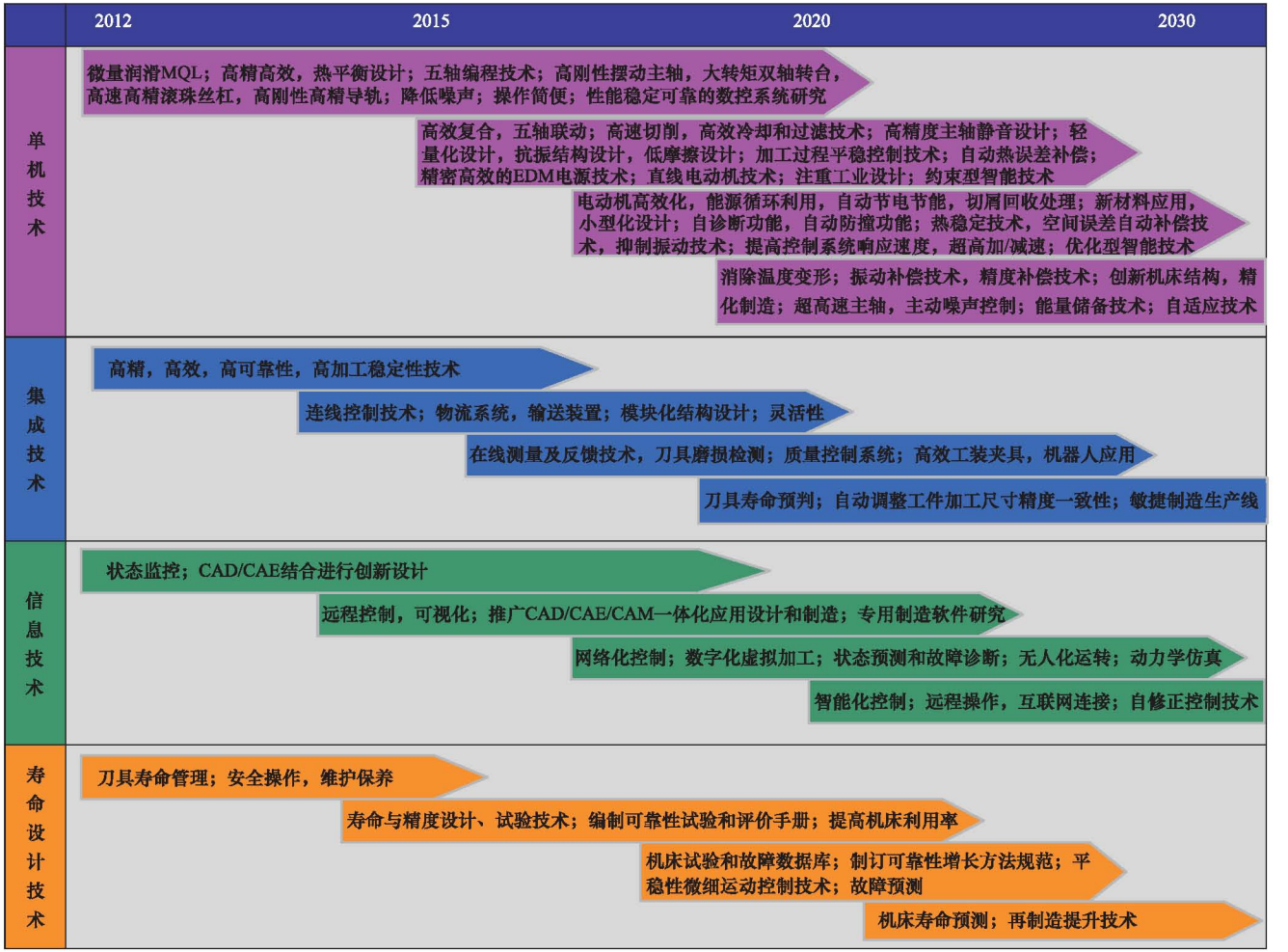


图 9–3　数控机床产品技术路线图

9.3 产品服务路线图

“十一五”期间，数控机床行业已经有很多产品与国际高端供应商站在了同一个竞争平台上，积极为重点用户甚至国际制造商提供装备。比如济南二机床有限公司在美国福特公司压力机生产线招标项目中，一举中标，为福特公司在美国的两家工厂提供五条世界最先进的冲压生产线，现在已实现陆续交付使用。只有为用户提供超越客户期望的真正具有竞争力的产品和服务，才能在重点行业核心制造领域特别是战略性新兴产业有所突破和进展。

政府给予资金和政策扶持，以企业为主逐步建立工艺研究试验室，包括五轴联动机加工、精密超精密加工、大重型零件加工、磨削加工、电加工、数控系统应用等，积累优化切削参数并建立相应的数据库，研究工装夹具与刀具的合理化配置和五轴编程技术。进行高效加工工艺技术研究，提高用户产品性能。进行控制系统的软件开发和应用试验研究，突破核心技术瓶颈，打破国外技术封锁和贸易壁垒，促进数控机床产业的发展。建立用户工艺研究实验室，将产品与用户需求和工艺结合起来，为用户提供整体解决方案。逐步提高我们的应用技术能力，提升用户使用信心。应增加产品的技术含量，提升设计和制造水平，创新服务模式，降低资源消耗，减少环境污染，提高经济效益。积极开发低噪声、低振动、可靠安全、节能环保的产品，提升数控机床的高效化、标准化、模块化、信息化、网络化、智能化水平，建立完善的数控机床核心技术和关键零部件及控制系统的研发、试验验证、标准及知识产权保护体系，提升核心部件及系统创新能力，加强关键核心部件的技术研发，推进数控机床产品的工程化与产业化。

数控机床的产业发展方向应是“高端、高效、高辐射力”。产品技术发展以中高端高附加值为主；技术发展以高效、精密、高可靠为目标；产品服务范围广，产业链辐射的劳动力市场巨大，对国家经济发展具有稳定和促进作用。

我国数控机床产业经过几十年的迅速发展，在产品和技术水平上已经具有了一定的优势地位，但也要“有所为、有所不为”，在产品类型上，应保持自己的优势和特点，深化质量管理，强化共性技术研究，突破产品可靠性和精度稳定性的瓶颈，将产品做精；在产业规模上，要提高优势产品的市场占有率，实现替代进口，将产业做强；在创品牌方面，数量和规模并不能代表产业发展的全部，应试图洗脱国产机床给用户留下的低端、廉价的印象，这就要靠质量和服务来实现。就像海尔集团 CEO 张瑞敏说的：“在现在的世界上，世界品牌就是消费者可以听得懂的语言，你不是世界品牌别人就不会听懂”。这就是我们的努力方向，

即将品牌做响。

9.3.1 把用户服务过程规范化和流程化

数控机床企业应努力在航空航天、发电设备、船舶等战略性新兴产业及其他重要领域关键部件的制造中有所突破，为其提供高端的核心装备，改善或创造与客户交流和沟通的方式，把握客户的需求，从而销售产品。积极主动地推动企业与重点用户的深入交流与合作，组织企业间的供需沟通、技术交流与协作攻关，组织行业专家对影响中高档数控机床市场竞争力的共性问题进行调研分析，为企业提供咨询意见，向政府提出政策建议等。

企业应与客户间建立信任关系，并为客户提供卓越的服务。产品只有得到了客户的信任，客户才愿意购买。二次大战之后德国和日本重建工业，当时一说到日本的产品就是廉价和非常差劲的，日本公司总是喜欢复制别人、抄袭别人，因此在20世纪50年代的时候，大家都不信任他们的产品。但现在却不同了，日本的产品有许多创新，产品的质量也很好，属于真正的价廉物美，日本制造成为非常值得信赖的高质量产品，因此在国际市场上所占的份额非常大，竞争力很强。这就是靠产品品质赢得了客户的信任，从而体现在购买力上。

面对国内外市场，我国数控机床产业的品牌认知需要一步一步地建立起来，除了品牌要有响亮的名字和有冲击力的LOGO之外，品牌背后所携带的含义，包括产品可靠性、服务质量的承诺、创新能力等，都要通过不同的品牌打造和品牌战略来实现。企业既要专注于产品的开发和创新，又要针对客户的不同需求，研究客户的制造工艺，让客户了解我们在为他们做什么、能为他们做好什么，通过和客户建立情感联系，提高客户的忠诚度，让他们心甘情愿地购买我们的服务，认可我们的品牌。每个员工都要把自己当成是我们的品牌大使，在服务过程当中，不仅要有很强的工作能力，更要有良好的形象。

企业在为用户服务的管理流程中，一定是要由企业的高层领导者主导，才可能找到组织文化的核心，才可能把整个运作流程把控得更好。要建立战略性的服务规范和标准，并且贯彻到每一位员工的思想和行为当中，领导者要亲自参与和实践，与员工肩并肩合作，花足够的时间跟员工进行沟通，做到员工尊重领导，领导爱护员工，这样才能激发灵感，同时激发员工的积极性和创造性；结合市场以及产品特性，把服务规范制定得更合理、更有效。否则，花费再多的营销费用，也无法达到原有的期望。

服务规范和标准制定好以后，最重要的是能够有效地落实。在具体的落实

和执行过程中，不可能由高管一步一步去做，因此必须要建立一个相应的管理部门，并且要具有跨部门运作协调的能力，去推动整个规范化的管理工作，在此基础上，将服务过程以文件的形式流程化、制度化，配合相应的知识系统，由员工的具体执行来达到服务目标。

9.3.2 把用户服务行为作为产品价值体现的延伸

鼓励企业将产品与用户需求和工艺结合起来，为用户提供整体解决方案。进行高速切削工艺研究、五轴编程技术研究和成套生产线技术研究，逐步提高我们的应用技术能力，提升用户使用信心。 建立有效的用户问题反馈机制；树立用户至上的观念，建立快速服务系统；及时有效的服务将增强企业的竞争力，有利于机床产品质量的提高。应信守合同，重视交货期。

老产品要在做精做细上下功夫；新产品的上马，要做充分的调研和论证，要确保是新的增长点，尽量避免过多的重复，尽量避免价格竞争。注意创品牌，创特色。关键设备一定要看准了再投，旧设备的精化和二手设备的数控化改造是经济的投资方式，一方面锻炼培养了人才，另一方面提高了设备的能力，逐渐可以做到设备自产自用。这也是发现自制产品问题、提高产品质量并将产品推向市场的一种途径。

产品性能卓越、品质完美是我们奋力追求的目标，提供更完美的产品与客户一起成功是我们的理念。围绕进一步提高产品质量的目标，进行卓有成效的产品技术提升和改进工作，严格执行产品试验规范和检验标准，使产品在稳定性和可靠性方面达到更高的水平。在服务方面丰富和完善“专家系统”，针对不同用户、不同产品要求，设计开发工艺策略，缩短用户编程时间，使用户在最短的时间里达到专家的工艺技术水平，为用户更好地使用我们的设备提供帮助。

确定企业的价值观，以诚信为本，以科技为基础，坚持创新。以对客户真诚的信任、优质的承诺和创新的专业化服务为使命，使员工自觉地建立和维护企业的形象，增加对自身品牌的认可和情感方面的动力，提高企业在客户当中的信任度，以优质的产品品质和专业化的服务，提升客户对企业产品的认知度，使客户愿意使用我们的产品，并以使用我们的产品为荣，从而提高客户对企业产品的美誉度，并扩大产品使用范围，提升产品在客户心目中的市场地位，进而转化为对企业产品的忠诚度；将客户的购买力转化为企业营业额的增长，从而体现出优质服务所创造的增值。通过对某一领域的深入研究和实践，创新自身的服务特色和服务标准，为用户提供切实合理的解决方案，在用户间产生连锁效应，以提升企

业产品的知名度和美誉度。

让客户满意最简单的方法就是保证产品性能好、质量好、服务到位、价格便宜，并且产品能满足客户的需要。用户关心的是产品是不是可靠，质量是不是有保障，服务是不是能够保证所有的设备处于正常的工作状态，处于能够创造价值的状态。企业应有明确的目标，充分调研和分析消费者的需求，研发出具有核心价值和适销对路的创新产品，把产品质量提高，把产品服务做好，把生产营运能力充分发挥出来，从而获得足够的市场份额，以此来创造价值。企业只有充分地重视客户对产品和服务的反馈意见，将服务跟实际业务紧密结合在一起，为客户发现价值、提升价值、实现价值，还要持续地创造新价值，才能为自己创造更多的价值。

我国有些数控机床企业已经有很好的经营业绩，机床产值排在了世界前列，也有很高的市场知名度，但是消费者并不认为这些企业达到了国际水平的标准，原因很简单，就是我们的产品和我们的服务还没有真正达到国际水平，市场不是封闭的，即使我们的企业和产品不走出中国，也不可避免地要接受国际品牌的挑战。我们要用一个简单的理念去贯穿整个产品服务，言出必行，说到做到，客户的服务承诺不应是一个宣传的口号，而应是我们面向市场服务的一个目标，这个目标要与企业的经营理念强烈吻合，这才是有清晰价值观的企业，只有做到言行一致，才能获得来自于全球客户的认同，才能真正走向世界。但这并不是说要把生意做到海外去，也不一定是进出口多一点就是国际化的公司，而是说要非常务实的把产品做好，不仅要注重功能和效应，更要花工夫进行消费体验，与消费者换位思考，给予消费者以软实力体现，才能真正把中国品牌做出来，展现内在价值，实现企业国际化。我国的制造业以消耗全球 36% 的资源生产全球 9% 的价值的产品，就是因为我们的产品太便宜了，服务的附加值太低，如果用 9% 的资源生产 36% 的价值，多出来的 27% 就是价值的延伸。

9.3.3 把降低单件制造成本作为为用户服务的终极目标

同质化的产品往往采用相似的方法进行营销，并不能让客户熟记。中低档数控机床的入门门槛较低，造成了行业极度分散，许多企业在无法保证质量的情况下展开低价恶性竞争。这么多企业扎堆生产严重同质化的产品，行业低利润经营，低水平服务低端产品，再加上低价格竞争，营销难就成了不争的事实。数控机床是价值较高、使用寿命较长的产品，用户购置频率很低，这在一定程度上促成了一些企业的急功近利。但是大多数企业重营销而轻服务，从而忽略了用户购买数控机床的最深层的动机，那就是降低生产成本，提高产品质量和劳动生产

率。现在国产数控机床产品的主要瓶颈是产品可靠性差、为客户提供整体解决方案的能力差，反映出国内数控机床经营层次和附加值依旧很低。因此数控机床产业的产品升级和服务升级已刻不容缓。

国内数控机床企业更多的是按照产品来划分市场，而没有从服务上来划分，这也导致了服务质量长期处于较低水平。超越传统的服务模式和经营理念，要让企业真正巩固和发展，对于现阶段的数控机床企业来说是一项系统工程，也是巨大的挑战，要从产品技术、生产质量、服务理念和人员素质各方面全面升级。例如，企业员工要转变思维方式，推广以客户为中心的理念，关注客户的真正需求，意识到客户服务的价值，并透彻地理解这种价值会给企业带来的利益，从而自觉地为客户提供优质高端的服务，提高服务的附加值，同时收取合理的、较高的服务费用，带动企业的利润增长；企业还要提升自身的管理能力和执行力，以创造自己良好的品牌形象。当然，品牌只是企业的一个符号，要让用户记住品牌，最核心的部分仍然是产品的品质和后续服务，如果没有好的产品和服务作支撑，光靠宣传是走不远的。现在用户在购买产品时越来越多地趋于科学和理性，以客户为中心，提供满意的产品和服务成为营销推广的重点，数控机床产业应从卖产品向卖服务进行转型。

用户最关心的事情就是以最低成本购买机床，再生产出最好的产品。因此，机床企业努力的目标就应该是以最低的单件制造成本，加工出质量最好的单件产品，同时要配置最合理优化的工艺，提供整体加工解决方案。

德国机床协会作过统计，一台加工中心使用的整个生命周期大约 7 ～ 8 年的时间内，机床初期采购的成本仅占 15% 左右，也就是说其他约 85% 的成本都是在生产过程中产生的，比如刀具成本在整个生产寿命周期约占 9% ～ 10%。稳定性比较好的机床，切削非常平稳，没有噪声，不会产生振动，对刀具的损坏就小，刀具寿命自然就长。而刚性高的机床，定位快速而精确，不仅电动机功率可以减小，而且快速移动速度也不需要太大，但加工效率却非常高，从而降低了机床制造成本和使用成本。这样既避免了因使用大电机而使耗电更大，也不会因追求速度快，导致更大的加速度引起丝杠磨损，从而最终造成使用成本更高的结果。

搭建规模宏大的服务体系其实是一种高成本的运作方式，日常管理费用很高，但考虑到品牌的美誉度，这样的投资是值得的，毕竟数控机床产品品牌的建设需要长期投入，售后服务体系的良好运转能带来强大的口碑效应，从而带动用户的下一次购买行为。数控机床产品服务路线图如图 9–4 所示。

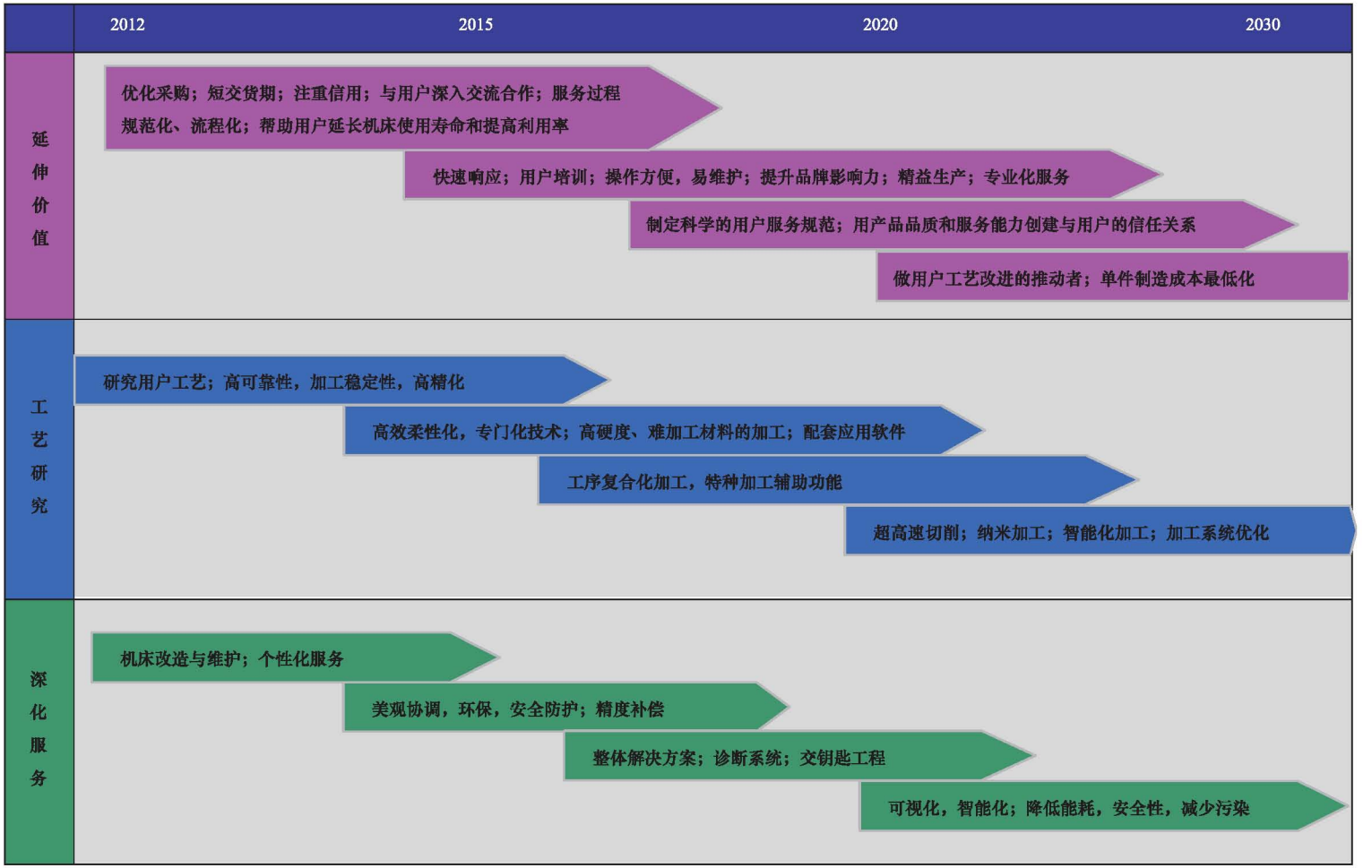


图 9–4　数控机床产品服务路线图

产业发展路线图能够使行业内的企业共同认清所处的经济社会环境，识别新机会，发展新能力，把握技术发展潮流，确定优先发展顺序，并促进行业内各企业整合资源、组成战略联盟，发挥优势、开展合作，共同致力于共性关键技术的突破，提高产业发展水平。

数控机床产业是国家战略性基础产业，虽然经过几十年的发展，许多技术已逐步趋于成熟。但随着新兴产业和高技术产业的发展，对数控机床提出了新的技术需求和更高的要求，同时也给产业带来了新的机遇和挑战。

附　录

附录 A “十二五”国家战略性新兴产业发展规划

国发［2012］28 号

中华人民共和国国务院

二〇一二年七月九日

战略性新兴产业是以重大技术突破和重大发展需求为基础，对经济社会全局和长远发展具有重大引领带动作用，知识技术密集、物质资源消耗少、成长潜力大、综合效益好的产业。根据“十二五”规划纲要和《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》（国发［2010］32 号）的部署和要求，为加快培育和发展节能环保、新一代信息技术、生物、高端装备制造、新能源、新材料、新能源汽车等战略性新兴产业，特制定本规划。

一、背景

当今世界新技术、新产业迅猛发展，孕育着新一轮产业革命，新兴产业正在成为引领未来经济社会发展的重要力量，世界主要国家纷纷调整发展战略，大力培育新兴产业，抢占未来经济科技竞争的制高点。

当前，全国上下正按照科学发展观的要求，加快转变经济发展方式，推进中国特色新型工业化进程，推动节能减排，积极应对日趋激烈的国际竞争和气候变化等全球性挑战，促进经济长期平稳较快发展。在此过程中，必须站在战略和全局的高度，科学判断未来需求变化和技术发展趋势，大力培育发展战略性新兴产业，加快形成支撑经济社会可持续发展的支柱性和先导性产业，优化升级产业结构，提高发展质量和效益。

“十二五”时期是我国战略性新兴产业夯实发展基础、提升核心竞争力的关键时期，既面临难得的机遇，也存在严峻挑战。从有利条件看，我国工业化、城镇化快速推进，城乡居民消费结构加速升级，国内市场需求快速增长，为战略性新兴产业发展提供了广阔空间；我国综合国力大幅提升，科技创新能力明显增

强，装备制造业、高技术产业和现代服务业迅速成长，为战略性新兴产业发展提供了良好基础；世界多极化、经济全球化不断深入，为战略性新兴产业发展提供了有利的国际环境。同时也要看到，我国战略性新兴产业自主创新发展能力与发达国家相比还存在较大差距，关键核心技术严重缺乏，标准体系不健全；投融资体系、市场环境、体制机制政策等还不能完全适应战略性新兴产业快速发展的要求。必须加强宏观引导和统筹规划，明确发展目标、重点方向和主要任务，采取有力措施，强化政策支持，完善体制机制，促进战略性新兴产业快速健康发展。

二、指导思想、基本原则和发展目标

（一）指导思想

以邓小平理论和“三个代表”重要思想为指导，深入贯彻落实科学发展观，把握世界新科技革命和产业革命的历史机遇，面向经济社会发展的重大需求，以改革创新为动力，以营造良好的产业发展环境为重点，以企业为主体，以工程为依托，加强规划引导，加大政策扶持，着力提升自主创新能力，加速科技成果产业化，推动战略性新兴产业快速健康发展，抢占经济科技竞争制高点，促进产业结构升级、经济发展方式转变和经济社会可持续发展。

（二）基本原则

市场主导、政府调控。充分发挥市场配置资源的基础性作用，以市场需求为导向，着力营造良好的市场竞争环境，激发各类市场主体的积极性。针对产业发展的薄弱环节和瓶颈制约，有效发挥政府的规划引导、政策激励和组织协调作用。

创新驱动、开放发展。坚持自主创新，加强原始创新、集成创新和引进消化吸收再创新；加强高素质人才队伍建设，掌握关键核心技术，健全标准体系，加速产业化，增强自主发展能力。充分利用全球创新资源，加强国际交流合作，探索国际合作发展新模式，走开放式创新和国际化发展道路。

重点突破、整体推进。坚持突出科技创新和新兴产业发展方向，选择最有基础、最有条件的重点方向作为切入点和突破口，明确阶段发展目标，集中优势资源，促进重点领域和优势区域率先发展。总体部署产业布局和相关领域发展，统筹规划，分类指导，适时动态调整，促进协调发展。

立足当前、着眼长远。围绕经济社会发展重大需求，着力发展市场潜力大、产业基础好、带动作用强的行业，加快形成支柱产业。着眼提升国民经济长远竞争力，促进可持续发展，对重要前沿性领域及早部署，培育先导产业。

（三）发展目标

产业创新能力大幅提升。企业重大科技成果集成、转化能力大幅提高，掌握一批具有主导地位的关键核心技术，建成一批具有国际先进水平的创新平台，发明专利质量数量和技术标准水平大幅提升，战略性新兴产业重要骨干企业研发投入占销售收入的比重达到 5% 以上。一批关键核心技术达到国际先进水平。

创新创业环境更加完善。重点领域和关键环节的改革加快推进，有利于创新战略性新兴产业商业模式、发展新业态的市场准入条件，以及财税激励、投融资机制、技术标准、知识产权保护、人才队伍建设等政策环境显著改善。

国际分工地位稳步提高。涌现一批掌握核心关键技术、拥有自主品牌、开展高层次分工合作的国际化企业，具有自主知识产权的技术、产品和服务的国际市场份额大幅提高，在部分领域成为全球重要的研发制造基地。

引领带动作用显著增强。战略性新兴产业规模年均增长率保持在 20% 以上，形成一批具有较强自主创新能力和技术引领作用的骨干企业，一批特色鲜明的产业链和产业集聚区。到 2015 年，战略性新兴产业增加值占国内生产总值比重达到 8% 左右，对产业结构升级、节能减排、提高人民健康水平、增加就业等的带动作用明显提高。

到 2020 年，力争使战略性新兴产业成为国民经济和社会发展的重要推动力量，增加值占国内生产总值比重达到 15%，部分产业和关键技术跻身国际先进水平，节能环保、新一代信息技术、生物、高端装备制造产业成为国民经济支柱产业，新能源、新材料、新能源汽车产业成为国民经济先导产业。

三、重点发展方向和主要任务

（一）节能环保产业

强化政策和标准的驱动作用，充分运用现代技术成果，突破能源高效与梯次利用、污染物防治与安全处置、资源回收与循环利用等关键核心技术，大力发展高效节能、先进环保和资源循环利用的新装备和产品；完善约束和激励机制，创新服务模式，优化能源管理、大力推行清洁生产和低碳技术、鼓励绿色消费，加快形成支柱产业，提高资源利用率，促进资源节约型和环境友好型社会建设。

1. 高效节能产业

发展高效节能锅炉窑炉、电机及拖动设备、余热余压利用、高效储能、节能监测和能源计量等节能新技术和装备；鼓励开发和推广应用高效节能电器、高效

照明等产品；提高新建建筑节能标准，开展既有建筑节能改造，大力发展绿色建筑，推广绿色建筑材料；加快发展节能交通工具；积极开发和推广用能系统优化技术，促进能源的梯次利用和高效利用；大力推行合同能源管理新业态。

专栏 1　高效节能产业发展路线图

时间节点	2015 年	2020 年
发展目标	重大节能技术装备得到推广应用，主要终端用能产品能效接近国际先进水平，高效节能产品市场占有率大幅提升，采用合同能源管理机制的节能服务业销售额年均增长 30% 以上	形成适合我国国情的节能技术装备和产品体系，主要节能装备、主要行业单位产出能耗指标达到国际先进水平
重大行动	●关键技术开发：重点开发高效内燃机和混合动力汽车，高压变频调速、稀土永磁无铁心电机等电机节能技术，蓄热式高温空气燃烧、等离子点火等高效锅炉窑炉技术，高效换热器及系统优化等能源梯次利用技术，中低品位余热余压回收利用技术，能源优化技术等 ●产业化：大力推广重点节能技术和产品，开展重点节能技术示范、产品产业化及推广应用。实施节能产品惠民工程、重大节能技术与装备产业化工程，推进重点领域节能改造 ●商业模式创新：推广合同能源管理，开展节能量交易	
重大政策	●严格实施固定资产投资项目节能评估和审查制度 ●制定重点用能产品能效标准和重点行业能耗限额标准，扩大能效标识实施范围，推行能效领跑者制度 ●加大财政支持力度，完善能源价格机制	

2. 先进环保产业

以解决危害人民群众身体健康的突出环境问题为重点，加大技术创新和集成应用力度，推动水污染防治、大气污染防治、土壤污染防治、重金属污染防治、有毒有害污染物防控、垃圾和危险废物处理处置、减振降噪设备、环境监测仪器设备的开发和产业化；推进高效膜材料及组件、生物环保技术工艺、控制温室气体排放技术及相关新材料和药剂的创新发展，提高环保产业整体技术装备水平和成套能力，提升污染防治水平；大力推进环保服务业发展，促进环境保护设施建设运营专业化、市场化、社会化，探索新型环保服务模式。

专栏 2　先进环保产业发展路线图

时间节点	2015 年	2020 年
发展目标	突破一批环保产业技术瓶颈，形成一批拥有自主核心技术的骨干企业和一批比较优势明显、产业配套完善、有序集聚发展的先进环保产业基地，城镇污水、垃圾和脱硫、脱硝处理设施运营基本实现专业化、市场化	重点领域环保技术及装备达到国际领先水平，环保装备标准化、系列化、成套化水平显著提高，建立统一开放、竞争有序的环保产业市场和环保服务体系；污染治理设施建设和运营基本实现专业化、社会化
重大行动	●关键技术开发：加快实施水体污染控制与治理科技重大专项，重点开发膜技术、生物脱氮、重金属废水污染防治、污泥处理处置等污水处理关键技术，焚烧烟气控制系统、渗滤液处理等垃圾处理技术，高效除尘、烟气脱硫脱硝等大气污染控制技术，有毒有害污染物防治和安全处置技术，电子电气产品有毒有害物质替代与减量化技术，重金属污染治理与土壤修复等成套技术及装备，新型高效环保材料、药剂等 ●产业化：大力推广应用国家鼓励发展的环保产业设备和产品，推进先进环保产品和技术装备产业化；全面推行污泥处理处置、垃圾焚烧、燃煤电厂脱硝与钢铁行业烧结脱硫等；实施重大环保技术装备及产品产业化示范工程等 ●环保服务业：大力推进污染治理设施专业化、市场化、社会化运营服务，发展提供系统解决方案的综合环保服务业	
重大政策	●完善污染物排放标准体系和环保产品标准体系 ●推进环保税费、价格改革	

3. 资源循环利用产业

大力发展源头减量、资源化、再制造、零排放和产业链接等新技术，推进产业化，提高资源产出率。重点发展共伴生矿产资源、大宗固体废物综合利用，汽车零部件及机电产品再制造、资源再生利用，以先进技术支撑的废旧商品回收体系，餐厨废弃物、农林废弃物、废旧纺织品和废旧塑料制品资源化利用。

专栏 3　资源循环利用产业发展路线图

时间节点	2015 年	2020 年
发展目标	减量化、再利用、资源化的先进资源循环利用技术得到推广应用。工业固体废物综合利用率达到 72% 以上，初步建立起现代废旧商品回收体系，以先进技术支撑的废旧商品回收率达到 70%，重要资源回收和再生利用能力明显提高	形成再利用、资源化产业技术创新体系，形成一批具有核心竞争力的资源循环利用技术装备和产品制造企业，建成技术先进、覆盖城乡的资源回收和循环利用产业体系

（续）

时间节点	2015 年	2020 年
重大行动	●关键技术开发：重点开发低品位共伴生矿产资源高效选冶、稀贵金属分离提取技术，大宗固体废物大掺量高附加值利用、废弃电器电子产品资源化利用、废旧材料分离与改性、废旧车用动力电池及蓄电池回收处理和利用、汽车零部件及机电产品再制造技术，城市及产业废弃物的生产过程协同资源化处理、餐厨废弃物资源化利用、农林废物高效利用技术，循环利用产业链接技术等 ●产业化：实施再制造产业化行动、废弃物资源化利用示范行动，加快“城市矿产”示范基地建设。促进区域循环经济体系建设。加快海水淡化产业发展	
重大政策	●推进资源税费改革 ●建立生产者责任延伸制，建立强制回收的产品和包装物名录和管理制度。发布《国家鼓励的循环经济技术工艺和设备名录》 ●建立资源循环利用产品认证体系和再制造产品标识管理制度	

（二）新一代信息技术产业

把握信息技术升级换代和产业融合发展机遇，加快建设宽带、融合、安全、泛在的下一代信息网络，突破超高速光纤与无线通信、物联网、云计算、数字虚拟、先进半导体和新型显示等新一代信息技术，推进信息技术创新、新兴应用拓展和网络建设的互动结合，创新产业组织模式，提高新型装备保障水平，培育新兴服务业态，增强国际竞争能力，带动我国信息产业实现由大到强的转变。“十二五”期间，新一代信息技术产业销售收入年均增长 20% 以上。

1. 下一代信息网络产业

实施宽带中国工程，加快构建下一代国家信息基础设施，统筹宽带接入、新一代移动通信、下一代互联网、数字电视网络建设；加快新一代信息网络技术开发和自主标准的推广应用，支持适应物联网、云计算和下一代网络架构的信息产品的研制和应用，带动新型网络设备、智能终端产业和新兴信息服务及其商业模式的创新发展；发展宽带无线城市、家庭信息网络，加快信息基础设施向农村和偏远地区延伸覆盖，普及信息应用；强化网络信息安全和应急通信能力建设。

专栏 4　下一代信息网络产业发展路线图

时间节点	2015 年	2020 年
发展目标	城市和农村家庭分别实现平均 20 兆和 4 兆以上宽带接入能力，部分发达城市网络接入能力达到 100 兆；基于国际互联网协议第 6 版（IPv6）的下一代互联网实现规模商用；三网融合全面推广，电视数字化转换基本完成。网络装备产业整体迈入国际前列，掌握关键核心技术；信息智能终端创新和产业化取得重大进展	具有国际先进水平的宽带、融合、安全、泛在的信息基础设施覆盖城乡。系统掌握新一代移动通信、数字电视、下一代互联网、网络与信息安全及智能终端等领域的核心关键技术，形成卫星移动通信服务系统，产业发展能力达到国际领先水平
重大行动	●信息网络升级：实施宽带中国工程，加快发展宽带光纤接入和无线移动通信，调整、优化频率规划，加快实施新一代宽带无线移动通信网科技重大专项，开展时分长期演进技术（TD-LTE）研发、产业化及商用示范，实施下一代互联网商用推广计划，推进农村宽带网络建设，统筹绿色数据中心布局，推进地面和有线数字电视网络建设 ●关键技术开发和产业化：实施物联网与云计算创新发展工程；加快 IPv4/IPv6 网络互通设备，以及支持 IPv6 的高速、高性能网络和终端设备、支撑系统、网络安全设备、测试设备及相关芯片的研发和产业化，加强 TD-SCDMA、TD-LTE 及第四代移动通信（4G）设备和终端研发，加快高性能计算机、高端服务器、智能终端、网络存储、信息安全等信息化关键设备的研发和产业化。推进数字电视下一代传输演进技术、接收终端、核心芯片、光通信、高性能宽带网等研发和产业化，推进三网融合智能终端的产业化和应用，建立广播影视数字版权技术体系 ●创新能力建设：完善云计算、移动互联网、信息安全等新兴领域工程实验室和工程（技术）研究中心建设，推动建立产业联盟和创新联盟，建设新兴信息技术领域的产品和技术可靠（控）验证实验室，提升数字电视、移动通信和下一代互联网等工程中心、实验室创新能力	
重大政策	●建立信息基础设施建设组织领导协调机制，制定支持宽带光纤、移动通信和数字电视建设相关政策，建立和完善电信普遍服务制度	

2. 电子核心基础产业

围绕重点整机和战略领域需求，大力提升高性能集成电路产品自主开发能力，突破先进和特色芯片制造工艺技术，先进封装、测试技术以及关键设备、仪器、材料核心技术，加强新一代半导体材料和器件工艺技术研发，培育集成电路产业竞争新优势。积极有序发展大尺寸薄膜晶体管液晶显示（TFT-LCD）、等离子显示（PDP）面板产业，完善产业链。加快推进有机发光二极管（OLED）、

三维立体（3D）、激光显示等新一代显示技术研发和产业化。攻克发光二极管（LED）、OLED 产业共性关键技术和关键装备、材料，提高 LED、OLED 照明的经济性。掌握智能传感器和新型电力电子器件及系统的核心技术，提高新兴领域专用设备仪器保障和支撑能力，发展片式化、微型化、绿色化的新型元器件。

专栏 5　电子核心基础产业发展路线图

时间节点	2015 年	2020 年
发展目标	高性能集成电路设计技术达到 22 纳米、大生产技术达到 12 英寸 28 纳米，掌握先进封装测试技术，初步形成集成电路制造装备与材料配套能力；新型平板显示面板满足国内彩电整机需求量的 80% 以上，新一代显示技术取得突破；关键电子元器件自主保障能力明显提升；关键专用设备、仪器和材料研发和产业化取得突破	掌握新一代半导体材料及器件的制造技术，集成电路设计、制造、封装测试技术达到国际先进水平；实现下一代显示器件与国际先进水平同步发展；新型关键元器件满足国内市场需求并具有国际竞争力；电子专用仪器设备和材料基本满足国内配套需要，形成核心竞争力
重大行动	●关键技术开发：加快实施核心电子器件、高端通用芯片及基础软件产品科技重大专项和极大规模集成电路制造装备及成套工艺科技重大专项，重点开发移动互联、数模混合、信息安全、数字电视、射频识别（RFID）、传感器等芯片，推动 32/28 纳米先进工艺产业化，支持射频工艺、模拟工艺等特色工艺开发，大力发展先进封装和测试技术，加强 8 ～ 12 英寸生产线关键设备、仪器、材料的研发。支持半导体与光电子器件新材料制备技术，高世代 TFT–LCD 生产线工艺、制造装备及关键配套材料制备技术，高清晰超薄 PDP 及 OLED 等新型显示技术，以及新型电力电子器件关键技术的开发 ●产业化：实施集成电路、新型平板显示创新发展工程；推进 LED、微机电系统（MEMS）、智能传感器、新型电力电子器件以及金属有机源化学气相沉积（MOCVD）装备等产业化 ●创新能力建设：建设集成电路装备及其生产系统集成开发等领域公共技术服务平台，建设微机电系统开发与应用实验室，建设完善 LED、电力电子、智能传感器、光电子等领域工程实验室，建设平板显示共性技术研发及公共服务平台 ●骨干企业培育：实施创新企业扶持计划，鼓励产业链上下游强强联合和兼并重组，支持基础产品企业与整机和应用企业建立创新联盟、创新发展促进中心等	
重大政策	●细化和落实支持集成电路和平板显示产业发展的优惠政策，研究提出支持整机和元器件产品、集成电路设计和芯片制造联动发展的优惠政策，制定推动 LED 产品推广应用的政策措施	

3. 高端软件和新兴信息服务产业

加强以网络化操作系统、海量数据处理软件等为代表的基础软件、云计算

软件、工业软件、智能终端软件、信息安全软件等关键软件的开发，推动大型信息资源库建设，积极培育云计算服务、电子商务服务等新兴服务业态，促进信息系统集成服务向产业链前后端延伸，推进网络信息服务体系变革转型和信息服务的普及，利用信息技术发展数字内容产业，提升文化创意产业，促进信息化与工业化的深度融合。充分统筹用好国内、国际两个市场，继续扩大软件信息服务出口，积极承接国际服务外包，依托新一代信息产业技术提升我国在国际产业链中的层次和水平。

专栏 6　高端软件和新兴信息服务产业发展路线图

时间节点	2015 年	2020 年
发展目标	攻克系统软件核心关键技术，重要应用软件的技术水平和集成应用能力显著提升，自主知识产权的系统、工具、安全软件对产业的带动力和辐射力显著增强。掌握网络信息服务关键应用和基础平台技术，基本形成高端软件和信息技术服务标准体系，培育一批世界知名的软件和信息技术服务企业	基本形成具有较强创新能力的软件和信息技术服务产业体系，自主品牌的操作系统和工具软件国际影响力和骨干企业国际竞争力显著增强。一批软件和信息服务企业进入国际前列，形成具有世界先进水平的电子商务信息服务体系、网络信息安全服务体系，实现信息服务对城乡和社会各群体的全面覆盖，信息化程度接近世界先进水平
重大行动	●新兴业态发展：积极实施物联网、云计算、移动互联网、数字电视网等新兴服务业态推进计划，以重大应用工程带动相关产业发展；实施信息惠民重大应用示范工程，带动社保、医疗、教育、就业等领域的信息服务平台建设；推进国家电子商务示范城市创建工作，支持第三方电子商务交易与服务平台建设，健全电子商务支撑体系，完善电子商务基础设施。建立信息技术服务标准（ITSS）体系，并在重点城市示范应用 ●关键技术开发：开展移动智能终端软件、网络化计算平台与支撑软件、智能海量数据处理相关软件研发和产业化。组织实施搜索引擎、虚拟现实、云计算平台、数字版权等系统研发。推进信息安全关键产品研发和产业化。加强计算机辅助设计与制造、智能化管理等工业软件研发。鼓励电子政务、金融、电信、保险、交通、广播电视等领域重大信息系统的自主研发。加强在信息系统咨询设计、集成实施、系统运维、测试评估等领域支撑技术研发。组织实施数字内容共性关键技术攻关和产业化。加强生物特征识别与身份认证技术的研发与应用	

（续）

时间节点	2015 年	2020 年
重大行动	●创新能力建设：加快软件和信息技术服务产业共性技术、测试认证、软件评测、开发环境、内容资源、技术标准等公共技术支撑平台建设。加快电子商务创新体系建设，加强软件企业、电子商务企业创新能力建设，引导业务标准库、知识库和案例库建设。鼓励建立产学研用一体的技术研发机构和信息服务、整机生产和网络建设互动发展的创新联盟。加大行业领军人才和实用人才的培养和引进力度 ●培育骨干企业：实施骨干软件和信息服务企业培育计划，培育 20 家左右软件和信息服务业务收入超过 100 亿元的骨干软件和信息服务企业	
重大政策	●贯彻落实《国务院关于印发进一步鼓励软件产业和集成电路产业发展若干政策的通知》（国发［2011］4 号），为产业发展营造良好环境 ●制定和完善支持政府、企事业单位购买和使用第三方数据存储服务等相关采购政策。完善政府公共信息资源开发激励机制，促进行业应用服务的外部化 ●支持高端软件和新兴信息服务研发，研发关键技术和产品 ●实施高端软件产业的标准化和知识产权保护战略，提升产业竞争力	

（三）生物产业

面向人民健康、农业发展、资源环境保护等重大需求，强化生物资源利用、转基因、生物合成、抗体工程、生物反应器等共性关键技术和工艺装备开发；加强生物安全研究和管理，建设国家基因资源信息库。着力提升生物医药研发能力，开发医药新产品，加快发展生物医学工程技术和产品，大力发展生物育种，推进生物制造规模化发展，加速构建具有国际先进水平的现代生物产业体系，加快海洋生物技术及产品的研发和产业化。“十二五”期间，产业规模年均增速达到 20% 以上。

1. 生物医药产业

提高我国新药创制能力，开发生物技术药物、疫苗和特异性诊断试剂；推进化学创新药研发和产业化，提高通用名药物技术开发和规模化生产水平；继承和创新相结合，发展现代中药；开发先进制药工艺技术与装备，发展新药开发合同研究、健康管理等新业态，推动生物医药产业国际化。

专栏 7　生物医药产业发展路线图

时间节点	2015 年	2020 年
发展目标	形成基因工程药物、新型疫苗、抗体药物、化学新药、现代中药等为代表的一批具有国际水平的新药开发平台，制药技术和装备研制水平大幅提升。30 个以上自主知识产权新药投放市场，200 个以上药品制剂进入国际主流市场。产业集中度大幅提升	形成以现代科学技术为支撑、以企业为主导的新药创制和安全评价体系，掌握当代新药创制关键核心技术，基因工程、新型疫苗、抗体工程等新医药的产品技术水平达到世界领先水平，5 个以上创新药物完成国际注册并上市销售，制剂产品在国际主流市场形成规模销售
重大行动	●创新能力建设：建立国家基因资源库、蛋白质库和生物样本库；以化学药物制剂技术、动物细胞高效表达与大规模培养、基因重组治疗性抗体、多肽类药物合成、干细胞治疗、基因治疗、转化医学等为重点，依托优势企业建设完善医产学研紧密结合的新药研发平台 ●新药创制：加快实施重大新药创制、艾滋病和病毒性肝炎等重大传染病防治科技重大专项，研发防治恶性肿瘤、心脑血管疾病、糖尿病等重大疾病的创新药物，开展新药安全评价和新药临床研究 ●产业化：实施基因工程药物和疫苗创新发展工程；促进自主知识产权基因工程药物、疫苗、抗体药物、化学新药、天然药、现代中药新品种、新型中药饮片、中药材规范种植等产业化；提升大规模动物细胞培养、蛋白纯化等生产新工艺技术和新型制药装备的保障能力 ●产业结构优化：全面推进药品生产质量管理体系和产品质量标准体系升级，推动制剂产品进入国际主流市场。优化产业布局，鼓励优势企业兼并重组，促进品种、技术等资源向优势企业集中	
重大政策	●完善药品注册管理、价格管理、集中招标采购等政策 ●完善生物伦理法律法规	

2. 生物医学工程产业

整合医产学研优势资源，推进医学与信息、材料等领域新技术的交叉融合，构建生物医学工程技术创新体系，提升新型生物医学工程产品开发能力。研究开发预防、诊断、治疗、康复、卫生应急装备和新型生物医药材料的关键技术与核心部件，形成一批适合大中型医院使用、具有自主知识产权的高端诊疗产品；大力开发高性价比、高可靠性的临床诊断、治疗、康复产品，促进基层医疗卫生机构建设和服务能力提升；发展数字医疗系统、远程医疗系统和家庭监测、社区护理、个人健康维护相关产品等。

专栏 8　生物医学工程产业发展路线图

时间节点	2015 年	2020 年
发展目标	以高性能影像诊断设备为主，形成具有国际水平的生物医学工程技术和产品研发平台，关键技术和核心部件发展取得突破；高性价比医疗设备产品基本满足基层医疗卫生机构需求。产业集中度大幅提升	形成企业主导、医产学研相结合的生物医学工程产品创新体系和新产品开发能力。高性能诊断治疗设备关键技术自主发展能力大幅提升，产品质量和技术水平达到国际先进水平，规模化进入国际市场
重大行动	●关键技术开发：支持生物医学研发，研究开发高性能临床诊疗设备的核心部件与关键技术，开发高集成度、高灵敏度、高特异性和高稳定性的临床诊断、治疗仪器设备及配套试剂，促进组织工程、介入及微创治疗、康复等产品开发，开发数字化、可移动医疗系统和适用于基层医疗卫生机构的高性价比诊疗设备 ●产业化：实施高性能医学影像设备创新发展工程，带动生物医学工程新技术、新产品产业化发展 ●创新能力建设：依托优势企业建设具有国际先进水平的高性能诊断和治疗设备、综合监护、组织工程、介入及微创治疗以及再生医学等产品创新与技术集成平台 ●产业升级：推进生产工艺创新，完善技术标准体系，强化企业质量管理，鼓励优势企业实施兼并重组，扩大企业规模，提高产业集中度，形成一批具有国际竞争力的大型企业集团 ●健康服务：推动覆盖城乡社区的数字化健康管理系统建设，加强城乡居民健康管理的日常化、实时化、动态化，带动家庭用健康监护设备、健康信息管理、远程医疗服务等相关产品发展，培育健康产业新业态。加强质量及使用安全评价与监督管理体系建设，完善产品市场准入审批程序、定价收费标准	
重大政策	●加强质量及使用安全评价与监督管理体系建设，完善产品市场准入审批程序、定价收费标准	

3. 生物农业产业

围绕保障粮食安全和促进现代农业发展，完善育种科学设施体系，加强生物育种技术研发和产业化，加快高产、优质、多抗、高效动植物新品种培育及应用，推动育繁推一体化的现代育种企业发展，着力提升种业竞争力。积极推进生物兽药及疫苗、生物农药、生物肥料、生物饲料等绿色农用产品研发及产业化，为我国农业发展提供重要支撑。

专栏 9　生物农业产业发展路线图

时间节点	2015 年	2020 年
发展目标	形成一批现代生物育种和农用生物产品创新平台。培育动物新品种（系）20 个，培育高产优质多抗高效农作物新品种 180 个，累计推广 5 亿亩；一批新型绿色农用生物产品实现产业化	形成现代生物育种、农用生物产品创新及安全评价与监督体系。产品发展能力跻身国际先进水平，1 ～ 2 家种子企业进入全球种业 20 强，10 ～ 15 家农用生物制品企业具有国际竞争优势
重大行动	●关键技术开发：加快实施转基因生物新品种培育科技重大专项；突破转基因育种、航天育种、分子标记育种、重离子辐照育种等生物育种和绿色农用生物制品关键技术，加快开发重要农业生物新品种，以及农业生产重大疫病防治新型疫苗、生物农药等绿色农用产品 ●产业化：组织实施生物育种产业创新发展工程，加强新品种的研制，建设育种基地，加快推进重要农作物以及重要畜禽、水产等动植物新品种产业化 ●创新能力建设：建设重要动植物基因资源信息库，完善国家转基因生物安全评价管理体系，建设区域性重要粮棉油作物和主要畜禽生物育种及产业化设施，强化生物育种工程化能力；建设和完善生物肥料、生物农药、生物饲料、生物兽药研究开发设施	
重大政策	●完善有利于生物种业发展的知识产权、生物安全、市场推广和服务体系建设等政策 ●完善现代种子企业扶持政策措施 ●完善转基因安全评价管理	

4. 生物制造产业

以培育生物基材料、发展生物化工产业和做强现代发酵产业为重点，大力推进酶工程、发酵工程技术和装备创新。突破非粮原料与纤维素转化关键技术，培育发展生物醇、酸、酯等生物基有机化工原材料，推进生物塑料、生物纤维等生物材料产业化。大力推动绿色生物工艺在化工、制浆、印染、制革等领域关键工艺环节的应用示范，积极推进工程微生物与清洁发酵技术应用，提升大宗发酵新产品的国际竞争力。

专栏 10　生物制造产业发展路线图

时间节点	2015 年	2020 年
发展目标	生物制造技术能力显著提升，生物基产品在工业化学品中的比重大幅提高。聚乳酸、聚丁二酸丁二醇酯等有机化工原料与工业生物材料等品种实现十万吨级规模化生产。生物新工艺在印染、制浆、漂白、脱胶等工艺过程中达到规模化应用，污染物排放和能耗总量明显降低	形成生物化工产品、生物基材料和生物工艺的规模化发展能力，生物基产品在工业化学品中的比重提高到 12%。生物发酵产业产值和技术达到国际先进水平。化工、印染、制浆、制革等行业 30% 的生产采用生物工艺，污染物排放和能耗总量大幅度降低
重大行动	●关键技术开发：支持先进生物制造科技研发，完善微生物资源中心与基因信息库，突破生物基原材料规模化生产工艺、非粮原料转化、合成生物技术、工程菌开发等关键技术，开发适用于化工、轻工、纺织等行业的生物法生产工艺 ●产业化：建设能源植物等生物质原料规模化生产基地，开展新型工程菌、新型酶制剂、氨基酸、寡糖和生物基材料、生物质纤维、非粮发酵、绿色生物工艺过程的产业化示范及应用 ●创新能力建设：建设工业微生物菌种资源信息库，提升现代发酵工程技术、生物炼制、生物加工和人工菌种设计、开发与工程化能力，建设工程菌生态安全评价技术平台。促进发酵等领域产业技术创新联盟发展	
重大政策	●制定生物基产品认定机制与财政补贴、税收优惠政策	

（四）高端装备制造产业

面向我国产业转型升级和战略性新兴产业发展的迫切需求，统筹经济建设和国防建设需要，大力发展现代航空装备、卫星及应用产业，提升先进轨道交通装备发展水平，加快发展海洋工程装备，做大做强智能制造装备，把高端装备制造业培育成为国民经济的支柱产业，促进制造业智能化、精密化、绿色化发展。

1. 航空装备产业

统筹航空技术研发、产品研制与产业化、市场开拓及服务提供，加快研制具有市场竞争力的大型客机，推进先进支线飞机系列化产业化发展，适时研发新型支线飞机；大力发展符合市场需求的新型通用飞机和直升机，构建通用航空产业体系；突破航空发动机核心关键技术，加快推进航空发动机产业化；促进航空设备及系统、航空维修和服务业发展；提升航空产业的核心竞争力和专业化发展能力。

专栏 11　航空装备产业发展路线图

时间节点	2015 年	2020 年
发展目标	大型客机实现首飞；ARJ21 支线飞机批量生产和交付；新型通用飞机、民用直升机发展和应用实现全面突破。初步形成具有国际水平的航空研发和生产体系，形成国产飞机整机集成和关键部件研制生产能力，航空产业融入世界航空产业链	大型客机研制成功并批量进入市场；新型支线飞机完成研制，支线飞机实现系列化发展，通用航空实现产业化发展。完成大型商用航空发动机研制。航空产品、航空服务形成竞争优势，航空产业国际化发展水平显著提高
重大行动	●关键技术开发：加快实施大型飞机科技重大专项，开展大型商用涡扇发动机研制。加强飞机和直升机总体设计和试验；加强航空新材料及其零部件制造、航空设备及系统、新型涡轴发动机、适航、空管系统等关键技术研发 ●创新能力建设：建设完善民用航空创新体系，推进航空重点试验验证设施建设，提升飞机与直升机、发动机、机载系统设计、制造、试验验证和适航、安全保障等航空综合技术开发能力 ●产业化：实施支线飞机与通用航空重大创新工程，推进 ARJ21、新舟支线飞机系列化发展，建成 ARJ21 系列支线飞机的批产能力，适时启动研制新型支线飞机。多谱系、成系列发展通用飞机和直升机。以设计研制、生产制造为主要环节，提升航空大部件和机载系统的国际化专业化发展水平；推进发动机、机载系统、空管系统、场站设备及航空新材料、元器件产业化 ●市场培育：开展通用航空基础设施建设，发展通用航空服务。大力拓展包括市场开发、航空租赁、维修服务、通航运营等在内的航空服务业务，推进航空产业链的协调发展	
重大政策	●加快制定民用航空工业法律法规，加速推进和落实低空空域管理政策，加大民用航空技术研发和产业化投入 ●出台支持支线和通用航空发展具体政策	

2. 卫星及应用产业

紧密围绕经济社会发展的重大需求，与国家科技重大专项相结合，以建立我国自主、安全可靠、长期连续稳定运行的空间基础设施及其信息应用服务体系为核心，加强航天运输系统、应用卫星系统、地面与应用天地一体化系统建设，推进临近空间资源开发，促进卫星在气象、海洋、国土、测绘、农业、林业、水利、交通、城乡建设、环境减灾、广播电视、导航定位等方面的应用，建立健全卫星制造、发射服务、地面设备制造、运营服务产业链。推进极地空间资源开发。

专栏 12　卫星及应用产业发展路线图

时间节点	2015 年	2020 年
发展目标	初步建成由对地观测、通信广播、导航定位等卫星系统和地面系统构成的空间基础设施，建立健全应用服务体系，形成卫星制造、发射服务、地面设备制造及卫星运营服务的完整产业链。促进民用航天全面实现向业务化的转变	建成由全天时全天候全球对地观测、全球导航定位、多频段通信广播等卫星系统构成的国家空间基础设施，建成完善的空间信息服务平台以及应用服务网络，航天产业发展水平处于国际先进行列
重大行动	●关键技术开发：突破卫星长寿命高可靠、先进卫星平台、新型卫星有效载荷、卫星遥感定量化应用、高精度卫星导航、宽带卫星通信、重型运载火箭、空间信息综合应用等关键技术，发展综合业务卫星系统；促进平流层飞艇、空间天气预报等关键技术攻关 ●重大工程：结合高分辨率对地观测系统、北斗导航等科技重大专项，实施国家空间基础设施建设重大创新发展工程，构建天基卫星系统、地面标校系统和增强系统、数据接收和信息处理系统、运营服务系统在内的一体化运行设施 ●产业化与推广应用：完善运载火箭系列型谱，提高国产地面设备市场竞争力，发展北斗兼容型导航终端以及数字化综合应用终端等产品；大力推进卫星遥感、通信广播、导航定位等空间信息资源产业化应用，提高国产卫星的应用范围与效益。促进航天技术在信息、新材料、新能源、节能环保和生物等领域的应用	
重大政策	●制定卫星及应用国家标准、卫星数据共享、市场准入等政策法规。制定开展卫星直播业务的产业扶持政策 ●制定鼓励民营资本进入卫星及应用领域的政策	

3. 轨道交通装备产业

大力发展技术先进、安全可靠、经济适用、节能环保的轨道交通装备，建立健全研发设计、生产制造、试验验证、运用维护、监测维修和产品标准体系，完善认证认可体系等，提升牵引传动、列车控制、制动等关键系统及装备自主化能力。巩固和扩大国内市场，大力开展国际合作，推动我国轨道交通装备全面达到世界先进水平。

专栏 13　轨道交通装备产业发展路线图

时间节点	2015 年	2020 年
发展目标	掌握先进轨道交通核心技术，全面实现轨道交通装备产品自主设计制造，建成产品全寿命周期服务体系，满足我国轨道交通发展需要；主要产品具有国际竞争力	标准体系及认证体系实现国际化，轨道交通装备技术水平国际领先，形成国际化发展的综合能力，打造拥有总承包商资质、具有全球配置资源能力的大型企业
重大行动	●关键技术开发与产业化：实施先进轨道交通装备及关键部件创新发展工程；完成交流传动快速机车、大轴重长编组重载货运列车技术研究；推进综合检测列车、高寒动车组、城际列车、智能列车的研制工作，实现动车组及交流传动机车产品谱系化，逐步完善中低速磁悬浮自主创新技术，基本掌握高速磁悬浮导向和牵引控制、大型养护设备制造等关键技术；开发现代有轨电车；开发新型列控系统、安全综合检测等关键技术 ●创新能力建设：加强牵引传动、走行、制动、通信信号、安全保障关键技术及系统集成等轨道交通装备研发平台建设；完善试验验证条件；推进轨道交通装备标准体系建设；加快培育第三方认证机构	
重大政策	●制定鼓励企业积极参与国际竞争的相关政策	

4. 海洋工程装备产业

面向海洋资源特别是海洋油气资源开发的重大需求，大力发展海洋油气开发装备，重点突破海洋深水勘探装备、钻井装备、生产装备、作业和辅助船舶的设计制造核心技术，全面提升自主研发设计、专业化制造、工程总包及设备配套能力，积极推动海洋风能利用工程建设装备、海水淡化和综合利用等装备产业化。促进产业体系化和规模化，增强国际竞争力。

专栏 14　海洋工程装备产业发展线路图

时间节点	2015 年	2020 年
发展目标	初步实现深水海洋工程装备的自主设计建造和关键设备配套能力，基本形成自主的深水资源开发装备体系，提高国内市场占有率，产品具有国际竞争力	全面具备深水海洋工程装备的自主设计建造和关键设备配套能力，形成海洋工程装备产业完整的科研开发、总装制造、设备供应、技术服务产业体系，进一步提高国内市场占有率，提高产品国际竞争力

（续）

时间节点	2015 年	2020 年
重大行动	●关键技术开发与产业化：实施海洋工程装备产业创新发展工程，基本掌握主要海洋油气开发装备自主设计建造技术，提高关键设备和系统配套能力。突破海洋风能利用工程建设装备、海洋观测监测仪器设备及系统、水面支持系统、水下作业与保障装备的关键技术。积极开展深海工作站、海上大型浮式结构物等海洋可再生能源利用、海底金属矿产资源开发装备等前瞻性技术的研发 ●创新能力建设：在海洋深水勘探装备、钻井装备、生产装备、作业和辅助船舶的设计制造领域建设具有世界先进水平的工程中心、工程实验室、重点实验室；建设深海技术装备公共试验、检测平台，加强海洋工程装备企业技术中心能力建设，加大相关标准、规范研究制定力度，建立健全我国海洋工程装备的标准体系	
重大政策	●研究制定深海资源勘探专项鼓励政策	

5. 智能制造装备产业

重点发展具有感知、决策、执行等功能的智能专用装备，突破新型传感器与智能仪器仪表、自动控制系统、工业机器人等感知、控制装置及其伺服、执行、传动零部件等核心关键技术，提高成套系统集成能力，推进制造、使用过程的自动化、智能化和绿色化，支撑先进制造、国防、交通、能源、农业、环保与资源综合利用等国民经济重点领域发展和升级。

专栏 15　智能制造装备产业发展路线图

时间节点	2015 年	2020 年
发展目标	传感器、自动控制系统、工业机器人、伺服执行部件为代表的智能装置实现突破并达到国际先进水平，重大成套装备及大型成套生产线系统集成水平大幅度提升。提高国内市场占有率。重点领域制造过程智能化水平显著提高	建立健全具备系统感知和集成协调能力的智能制造装备产业体系，国内市场占有率达到 50%，形成一批具有国际竞争力的产业集聚区和企业集团，整体水平进入国际先进行列

（续）

时间节点	2015 年	2020 年
重大行动	●关键技术开发：加快实施高档数控机床与基础制造装备科技重大专项。加强新型传感、高精度运动控制、优化控制、系统集成等关键技术研究及公共服务平台建设；提高新型传感器、智能化仪表、精密测试仪器、自动控制系统、高性能液压件、工业机器人等典型智能装置的自主创新能力 ●产业化与应用示范：实施智能制造装备创新发展工程，推进智能仪器仪表、自动控制系统、传感器、工业机器人、中高档数控系统与功能部件、关键基础零部件产业化。提高重大成套智能装备集成创新水平，实现智能技术、智能测控装置和高性能基础零部件在石化、冶金、资源开采、汽车、电力、机械加工、环保与资源综合利用等重点领域的推广应用	
重大政策	●在重大技术装备首台（套）示范应用中，支持智能制造装备首台（套）研发创新及产业化，探索首台（套）装备保险机制	

（五）新能源产业

加快发展技术成熟、市场竞争力强的核电、风电、太阳能光伏和热利用、页岩气、生物质发电、地热和地温能、沼气等新能源，积极推进技术基本成熟、开发潜力大的新型太阳能光伏和热发电、生物质气化、生物燃料、海洋能等可再生能源技术的产业化，实施新能源集成利用示范重大工程。到 2015 年，新能源占能源消费总量的比例提高到 4.5%，减少二氧化碳年排放量 4 亿吨以上。

1. 核电技术产业

加强核电安全、核燃料后处理和废物处置等技术研究，在确保安全的前提下，开展二代在运核电安全运行技术及延寿技术开发，加快第三代核电技术的消化吸收和再创新，统筹开展第三代核电站建设。实施大型先进压水堆及高温气冷堆核电站科技重大专项，建设示范工程。研发快中子堆等第四代核反应堆和小型堆技术，适时启动示范工程。发展核电装备制造和核燃料产业链。到 2015 年，掌握先进核电技术，提高成套装备制造能力，实现核电发展自主化；核电运行装机达到 4 000 万千瓦，包括三代在内的核电装备制造能力稳定在 1 000 万千瓦以上。到 2020 年，形成具有国际竞争力的百万千瓦级核电先进技术开发、设计、装备制造能力。

2. 风能产业

加强风电装备研发，增强大型风电机组整机和控制系统设计能力，提高发电

机、齿轮箱、叶片以及轴承、变流器等关键零部件开发能力，在风电运行控制、大规模并网、储能技术方面取得重大突破。建设东北、西北、华北北部和沿海地区的八大千万千瓦级风电基地。在内陆山地、河谷、湖泊等风能资源相对丰富的地区，发挥距离电力负荷中心近、电网接入条件好的优势，因地制宜开发中小型风电项目，积极推动海上风电项目建设。

专栏 16　风能产业发展路线图

时间节点	2015 年	2020 年
发展目标	累计并网风电装机超过 1 亿千瓦，年发电量达到 1 900 亿千瓦时。基本建立完善的风电产业链，掌握先进风电机组整体设计能力，形成海上风电设备制造、工程施工能力	累计并网风电装机 2 亿千瓦以上，年发电量超过 3 800 亿千瓦时。海上风电装备实现大规模商业化应用。风电装备具备国际竞争力，技术创新能力达到国际先进水平
重大行动	●风能资源评价：开展风资源观测评价，建立风能资源评价模型、标准、检测、认证体系和数据库 ●关键技术开发与产业化：建立风电技术研发机构，突破风电整机设计以及轴承、变流器和控制系统制造技术与装备瓶颈。开发与我国气候和地理特点相适应的风电技术和装备，3 ～ 5 兆瓦大型整机、新型风电机组及其关键零部件实现产业化，满足陆地、海上风电场建设需要 ●风电并网：建立风电场功率预测预报体系，显著提高风电集中开发区域电网运行消纳风电的比例；建成风电大型基地配套外输通道，解决风电远距离输送的消纳问题	
重大政策	●实施可再生能源发电配额制，建成适应风电发展的电网运行及管理体系 ●加快建设适应新能源发展的智能电网及运行体系	

3. 太阳能产业

以提高太阳能电池转化效率、器件使用寿命和降低光伏发电系统成本为目标，大力发展太阳能光伏电池的生产制造新工艺和新装备；积极推动多元化太阳能光伏光热发电技术新设备、新材料的产业化及其商业化发电示范；建立大型并网光伏发电站，推进建筑一体化光伏发电应用，建立具有国际先进水平的太阳能发电产业体系。大规模推广应用高效、多功能太阳能热水器，推动太阳能在供暖、制冷和中高温工业领域的应用。建立促进光伏发电分布式应用的市场环境，推进以太阳能应用为主、综合利用各种可再生能源的新能源城市建设。

专栏 17　太阳能产业发展路线图

时间节点	2015 年	2020 年
发展目标	太阳能发电装机容量达到 2 100 万千瓦以上，光伏发电系统在用户侧实现平价上网。太阳能热利用安装面积达到 4 亿平方米。掌握太阳能发电、热利用关键技术，太阳能利用设备及其新材料的研发制造能力大幅提高。开展太阳能热发电试验示范	太阳能发电装机容量达到 5 000 万千瓦以上，光伏发电系统在发电侧实现平价上网。太阳能热利用安装面积达到 8 亿平方米；太阳能光伏装备研发和制造技术达到世界先进水平，太阳能热发电实现产业化和规模化发展
重大行动	●关键技术开发与产业化：重点开发太阳能利用装备生产新工艺和新设备、提高太阳能光伏电池转换效率、降低电池组件成本关键技术；发展以太阳能光伏发电为主的分布式能源系统；开发太阳能光伏发电新材料、新一代太阳能电池、太阳能热发电和储热技术，太阳能热多元化利用技术、制冷和工业应用技术，风光储互补技术等。开发储能技术和装备 ●市场培育：建设大型光伏电站，组织实施金太阳工程，开展微电网供用电示范，建设太阳能示范城市。开展太阳能热发电工程示范。适时大规模推广太阳能光伏光热发电及太阳能在供暖、制冷和中高温工业领域的应用。加强适应光伏发电发展的电网及运行体系建设	
重大政策	●制定普及太阳能光热利用的法规、标准等 ●建立适应太阳能光伏分布式发电的电网运行和管理机制，完善光伏上网电价形成机制	

4. 生物质能产业

统筹生物质能源发展，有序发展生物质直燃发电，积极推进生物质气化及发电、生物质成型燃料、沼气等分布式生物质能应用。加强下一代生物燃料技术开发，推进纤维素制乙醇、微藻生物柴油产业化。开展重点地区生物质资源详查评价，鼓励利用边际性土地和近海海洋种植能源作物和能源植物。

专栏 18　生物质能产业发展路线图

时间节点	2015 年	2020 年
发展目标	生物质能发电装机达到 1 300 万千瓦。生物燃气年利用量达到 300 亿立方米。固体成型生物质燃料年利用量达到 1 000 万吨。生物液体燃料年利用量达到 500 万吨。突破下一代生物液体燃料技术，纤维素制乙醇技术取得重大进展	生物质能发电装机达到 3 000 万千瓦。生物燃气年利用量达到 500 亿立方米。固体成型燃料年利用量达到 2 000 万吨。生物液体燃料年利用量达到 1 200 万吨。实现新一代生物液体燃料的商业化推广

（续）

时间节点	2015 年	2020 年
重大行动	●关键技术开发与产业化：推进大型自动化秸秆收集机械、以有机废弃物为原料的小型可移动沼气提纯罐装设备研发与推广；支持高效生物质成型燃料加工设备和生物质气化设备研发及产业化；完成兆瓦级低热值燃气内燃发电机组和兆瓦级沼气发电机组的产业化；建成 10 万吨级甜高粱乙醇示范工程；加强生物能源植物原料的育种与产业化；实现低成本纤维素酶、微藻生物柴油技术突破 ●市场应用：实施绿色能源示范县建设，推动生物质能源规模化、专业化、市场化开发建设，促进生物质能加快应用	
重大政策	●制定完善生物质能利用技术标准和工程规范，健全检测认证体系 ●完善生物燃料、能源化利用农林废弃物的激励政策及市场流通机制	

（六）新材料产业

大力发展新型功能材料、先进结构材料和复合材料，开展纳米、超导、智能等共性基础材料研究和产业化，提高新材料工艺装备的保障能力；建设产学研结合紧密、具备较强自主创新能力和可持续发展能力的高性能、轻量化、绿色化的新材料产业创新体系和标准体系，发布国家新材料重点产品发展指导目录，建立新材料产业认定和统计体系，引导材料工业结构调整。到 2015 年，突破一批国家建设急需、引领未来发展的关键共性技术；到 2020 年，关键新材料自给率明显提高。

1. 新型功能材料产业

大力发展稀土永磁、发光、催化、储氢等高性能稀土功能材料和稀土资源高效综合利用技术。积极发展高纯稀有金属及靶材、原子能级锆材、高端钨钼材料及制品等，加快推进高纯硅材料、新型半导体材料、磁敏材料、高性能膜材料等产业化。着力扩大丁基橡胶、丁腈橡胶、异戊橡胶、氟硅橡胶、乙丙橡胶等特种橡胶及高端热塑性弹性体生产规模，加快开发高端品种和专用助剂。大力发展低辐射镀膜玻璃、光伏超白玻璃、平板显示玻璃、新型陶瓷功能材料、压电材料等无机非金属功能材料。积极发展高纯石墨、人工晶体、超硬材料及制品。

2. 先进结构材料产业

以轻质、高强、大规格为重点，大力发展高强轻型合金，积极开发高性能铝合金，加快镁合金制备及深加工，发展高性能钛合金、大型钛板、带材和焊管等。以保障高端装备制造和重大工程建设为重点，加快发展高品质特殊钢和高温

合金材料。加强工程塑料改性及加工应用技术开发，大力发展聚碳酸酯、聚酰胺、聚甲醛和特种环氧树脂等。

3. 高性能复合材料产业

以树脂基复合材料和碳碳复合材料为重点，积极开发新型超大规格、特殊结构材料的一体化制备工艺，推进高性能复合材料低成本化、高端品种产业化和应用技术装备自主化。加快发展高性能纤维并提高规模化制备水平，重点围绕聚丙烯腈基碳纤维及其配套原丝开展技术提升，着力实现千吨级装备稳定运转，积极开展高强、高模等系列碳纤维以及芳纶开发和产业化。着力提高专用助剂和树脂性能，大力开发高比模量、高稳定性和热塑性复合材料品种。积极开发新型陶瓷基、金属基复合材料。加快推广高性能复合材料在航空航天、风电设备、汽车制造、轨道交通等领域的应用。

专栏 19　新材料产业发展路线图

时间节点	2015 年	2020 年
发展目标	在中高端新型功能材料、先进结构材料、高性能复合材料领域突破一批关键的专利核心技术，形成一批具有自主知识产权的产品，其中核心技术和先进零件加工制造技术达到国际先进水平。培育拥有自主品牌和较大市场影响力的骨干龙头企业 20 家，成为中高端新材料及产品的生产大国，提高国产高端新材料的自给率	以我国高端装备制造和国家重大工程建设对新材料的需求为目标，掌握新材料领域尖端技术和应用器件的规模化生产技术，其中核心技术和先进器件加工制造技术达到国际领先水平。构筑产业链、提高高端功能材料及产品的市场竞争力，打破国外垄断，进一步提高国产高端新材料的自给率
重大行动	●关键材料开发及产业化：加快突破新材料先进加工制造技术和装备，推进高性能复合材料、先进结构材料、新型功能材料开发和产业化。开发关键新材料制备加工成套技术与工艺，建设一批关键材料产业化示范生产线，培育和发展一批新材料产业基地 ●关键材料推广应用：统筹考虑新材料设计、生产、应用等环节，着力推广一批科技含量高、市场前景广的重点新材料品种，打造一批龙头骨干企业 ●新材料产业创新能力建设：在重点领域建设一批新材料技术创新、产品开发、分析检测、推广应用和信息咨询的公共服务平台	
重大政策	●制定并发布新材料产业重点产品指导目录 ●建立健全新材料产业统计体系、认定体系和标准体系 ●制定新材料推广应用风险补偿机制 ●推动军民共用新材料产业化、规模化发展	

（七）新能源汽车产业

以纯电驱动为新能源汽车发展和汽车工业转型的主要战略取向，当前重点推进纯电动汽车和插电式混合动力汽车产业化，推进新能源汽车及零部件研究试验基地建设，研究开发新能源汽车专用平台，构建产业技术创新联盟，推进相关基础设施建设。重点突破高性能动力电池、电机、电控等关键零部件和材料核心技术，大幅度提高动力电池和电机安全性与可靠性，降低成本；加强电制动等电动功能部件的研发，提高车身结构和材料轻量化技术水平；推进燃料电池汽车的研究开发和示范应用；初步形成较为完善的产业化体系。建立完整的新能源汽车政策框架体系，强化财税、技术、管理、金融政策的引导和支持力度，促进新能源汽车产业快速发展。

专栏 20　新能源汽车产业发展路线图

时间节点	2015 年	2020 年
发展目标	新能源汽车动力电池、电动机和电控技术取得重大进展，动力电池模块比能量达到 150 瓦时 / 千克以上，电驱动系统功率密度达到 2.5 千瓦 / 千克以上。纯电动汽车和插电式混合动力汽车累计产销量力争达到 50 万辆。初步形成与市场规模相适应的充电设施体系和新能源汽车商业运行模式	形成新能源汽车动力电池、电机和电控技术创新发展能力，动力电池模块比能量达到 300 瓦时 / 千克以上。纯电动汽车和插电式混合动力汽车累计产销量超过 500 万辆。充电设施网络满足城际间和区域内纯电动汽车运行需要，实现规模化商业运营。整体水平达到国际先进水平
重大行动	●创新能力建设：推进新能源汽车及零部件研究试验基地建设，建立全行业共享的测试平台、数据库和专利数据库等 ●关键技术研发：实施新能源汽车重大创新工程，突破产业化过程中的车身材料及结构轻量化等共性技术和工艺技术，研发新能源汽车全新底盘、动力总成、汽车电子等产品，加大力度联合研制动力电池及其关键材料，以及生产、控制与检测装备等，构建全行业共享的共性技术平台。建立健全新能源汽车、充电技术及设施标准体系 ●产业化推广：稳步推进公共服务领域新能源汽车示范，开展私人购买新能源汽车补贴试点，加强综合评价，积极推进充电基础设施建设，探索新能源汽车整车租赁、电池租赁以及充换电服务等多种商业模式，形成完善的市场推广体系	
重大政策	●完善财税激励政策，鼓励新能源汽车消费和使用 ●建立动力电池回收和梯级利用管理制度	

四、重大工程

（一）重大节能技术与装备产业化工程

围绕应用面广、节能潜力大的高效锅炉窑炉、余热余压利用、热电联产、电机系统和大容量低成本蓄能等领域，实施重大技术装备产业化示范工程；推进高效风机、水泵、变压器、空调机组、内燃机、节能家电等技术装备和产品的发展。到2015年，形成一批以高效燃烧、能源梯级利用、高效蓄能、绿色节能建材、节能监测和能源计量等为重点的节能技术装备与产品制造骨干企业和产业化示范基地，高效节能技术与装备市场占有率提高到30%左右，创新能力和装备开发能力接近国际先进水平。

（二）重大环保技术装备及产品产业化示范工程

以烟气脱硫脱硝、机动车尾气高效净化等大气污染治理装备，城镇生活污水脱氮除磷深度处理、新型反硝化反应器等水污染治理成套装备，高效垃圾焚烧和烟气处理、污泥处理处置等固体废物处理装备，重金属、氨氮在线监测等环境监测专用仪器仪表，环境应急监测车、阻截式油水分离及回收设备等环境应急装备为重点，实施一批产业化示范工程。推进重金属污染防治、土壤污染防治技术开发与示范应用，加快高性能膜、脱硝催化剂纳米级二氧化钛载体、高效滤料等污染控制材料的产业化。到2015年，培育一批在行业具有领军作用的环保企业集团及一批“专、精、特、新”的环保配套生产企业，创建10～15个区位优势突出、集中度高的环保技术及装备产业化基地。

（三）重要资源循环利用工程

实施“城市矿产”示范工程，建设一批“城市矿产”示范基地，提升废钢铁、废有色金属（稀贵金属）、废橡胶、废轮胎、废电池等再生资源利用技术和成套装备产业化水平。实施再制造产业化示范工程，建立一批再制造工程（技术）研究中心，形成若干再制造产业集聚区。实施产业废弃物资源化利用示范工程，推进大宗固体废物、共伴生矿、建筑废弃物的循环利用。加快建立先进技术支撑的废旧商品回收利用体系，建设一批示范城市。加快海水淡化产业发展。到2015年，建成我国重要资源循环利用技术体系，再制造产业初具规模，资源再生加工利用能力达每年2500万吨，煤矸石等大宗固体废弃物综合利用能力达每年4亿吨。

（四）宽带中国工程

加快推进宽带光纤接入网络建设，推进第三代移动通信（3G）网络全面、深度覆盖，开展TD-LTE规模商用示范；实施下一代互联网商用推广，建立新

型网络体系架构及配套技术试验床，形成完备的互联网技术标准，完善网络安全防护体系；全面实施广播电视数字化改造，积极推进三网融合；组织关键技术、装备、智能终端的研发及产业化。到2015年，宽带接入能力显著提高，95%的行政村具备宽带接入能力，相关装备和智能终端达到国际先进水平，全国县级（含）以上城市有线电视实现数字化，80%实现双向化，并基本完成数字地面电视覆盖。

（五）高性能集成电路工程

围绕重点整机系统应用需求，突破高端通用芯片核心技术，大力支持移动互联、模数混合、信息安全、数字电视、射频识别、传感器等芯片的设计，形成系统方案解决能力。加快先进生产线和特色生产线工艺技术升级和产能扩充，提高先进封装工艺和测试水平。进一步完善产业链，增强关键设备、仪器和材料的开发能力，支持大生产线规模应用。强化国产芯片和软件的集成应用。加快提升国家级集成电路研发公共服务平台的水平和能力。到2015年，集成电路设计业产值国内市场比重由5%提高到15%。

（六）新型平板显示工程

开展TFT-LCD显示面板关键技术和新工艺开发，实施玻璃基板等关键配套材料和核心生产设备产业化项目。突破PDP高光效技术、高清晰度技术以及超薄技术，完善配套产业链。开展高迁移率TFT驱动基板技术开发，攻克OLED有机成膜、器件封装等关键工艺技术，加强关键材料及设备的国产化配套。开展3D显示、电子纸、激光显示等新技术研发和产业化。到2015年，新型平板显示面板满足国内彩电整机需求量的80%以上，提高关键材料和核心生产设备本地化配套率。

（七）物联网和云计算工程

构建物联网基础和共性标准体系，突破低成本、低功耗、高可靠性传感器技术，组织新型RFID、智能仪表、微纳器件、核心芯片、软件和智能信息处理等关键技术研发和产业链建设。在典型领域开展基于创新产品和解决方案的物联网示范应用，培育和壮大物联网新兴服务业，加强物联网安全保障能力建设。开展云计算服务创新发展试点示范。整合现有各类计算资源，推动各领域信息共享和业务协同，突破虚拟化、云计算应用支撑平台、云安全、云存储等核心技术，大力加强高性能计算等领域应用软件的开发，推进高性能服务器、海量数据存储、智能终端等设备产业化，加强对云计算基础设施的统筹部署和创新发展，构建云

计算标准体系，支持建设一批绿色云计算服务中心、公共云计算服务平台，促进软件即服务（SaaS）、平台即服务（PaaS）、基础设施即服务（IaaS）等业务模式的创新发展。到2015年，初步形成符合国情的应用模式、标准规范和安全可靠的产业体系。

（八）信息惠民工程

推进普遍服务，完善信息惠民基础条件；建立多层次的国家优质教育资源库和共享服务平台，完善现代远程教育传输网络和服务体系；加强公共安全信息化支撑体系建设，提升公共安全实时监控、预警预报和应急处理能力，提高社会管理信息化水平。推进远程医疗，推广医疗信息管理和居民电子健康档案管理系统；推进标准统一、功能兼容的社会保障卡应用，逐步实现“人手一卡”和“一卡通”；支持一批城市开展电子商务示范城市创建工作，支持应用新信息技术和服务模式，在海铁公水联运、智能电网、安全生产监管、林业生态监测、环境污染监控、食品安全监管、药品药械监管、智能交通、货物快递追踪、危险品管理、城市公共管理等领域开展新型信息服务。加快研发适应三网融合业务要求的数字家庭智能终端和新型消费电子产品，开展数字家庭多业务应用示范。扩大信息服务在城乡及各领域的覆盖和应用。

（九）蛋白类等生物药物和疫苗工程

建立国家人类基因资源信息库、蛋白质库和生物样本库，重点突破新产品研发和产业化过程中的高效筛选、评价、纯化、大规模细胞培养、制剂技术、质量控制方法等环节的技术瓶颈，加强新型佐剂研究，建设若干研发和产业化技术平台，推进单克隆抗体药物、基因工程蛋白质及多肽药物、多联多价疫苗、治疗型疫苗、人畜共患病疫苗等新产品的研发及产业化，加强疫苗供应体系建设。到2015年，实现30个以上生物医药新品种投放市场，基因工程药物和疫苗创新能力大幅提升，我国防控重大疾病和传染病的能力明显提高。

（十）高性能医学诊疗设备工程

建设具有国际先进水平的高性能医学影像诊断治疗设备研发与技术集成平台，突破数字化探测器、高频高压发生器、超声探头、超导磁体等核心部件和关键技术，加快发展数字化X射线机、多层螺旋计算机断层扫描（CT）机、超导磁共振成像系统（MRI）、核医学影像设备正电子放射断层造影术（PET）/CT、数字化彩色超声诊断系统等高性能医学影像设备，加快推进高强度聚焦超声（HIFU）等高性能医学治疗设备开发，加速产业化和推进临床应用。到2015

年，掌握一批拥有自主知识产权的高性能医学影像诊断和治疗设备的核心技术，提高创新产品国内市场占有率。

（十一）生物育种工程

围绕国家粮食生产核心区，构建重要动植物基因信息库，重点研发转基因、分子设计、航天育种、胚胎工程等生物育种技术，建设国家级生物育种基地、区域性良繁基地，建立转基因生物安全管理体系，加快培育水稻、玉米、小麦、大豆、棉花、油菜等主要作物以及猪、牛、羊、鸡、鱼等重要畜禽水产新品种并实现产业化。到2015年，突破一批分子育种关键技术和装备，具有自主知识产权的主要农作物和畜禽新品种市场占有率明显提高。

（十二）生物基材料工程

建设工业微生物菌种与基因信息库，突破微生物菌种设计、生物炼制工艺等关键技术，建立非粮生物质原料种植加工基地，加快工业微生物、生物基工业原料、生物基塑料、生物质纤维、生物溶剂等生物基产品的产业化，加强生物基产品应用示范，构建生物基原材料生产加工与应用产业链，利用生物技术提升传统产业发展水平。到2015年，突破一批生物基材料开发和产业化技术，与化石原料相比具有竞争力的一批生物基材料实现规模化生产。

（十三）航空装备工程

按照安全、经济、舒适和环保的要求，研制具有国际竞争力的150座级C919单通道干线飞机。加快科技攻关，发展高可靠性、低成本、数字化支线飞机和通用飞机（含直升机）设计与制造技术。推进ARJ21支线飞机的规模化生产和系列化发展，支持新舟系列支线飞机改进改型，研制新型支线飞机，发展大中型喷气公务机和新型通用飞机（含直升机）；拓展支线飞机市场应用，扎实推进通勤航空试点。推动航空发动机、航空设备产业发展及航空维修、支援、租赁等产业配套体系建设。到2015年，我国航空装备发展能力大幅提升。

（十四）空间基础设施工程

建设时空协调、全天候、全天时的对地观测卫星系统和天地一体的地面配套设施，发展空间环境监测卫星系统；完善我国全球导航定位系统；启动由大容量宽带多媒体卫星、全球移动通信卫星、数据中继卫星等系统组成的空间信息高速公路建设；建设相关地面配套设施。开展先进卫星平台、新型卫星有效载荷、核心部组件、卫星遥感定量化应用等关键技术研发，推进重点行业和领域的卫星系统应用示范，进一步提升卫星对地观测、卫星通信和卫星导航定位应用产业化水

平。到2015年，形成长期连续稳定运行、系统功能优化的国家空间基础设施骨干架构，大幅提升我国卫星提供经济社会发展需求空间信息的能力。

（十五）先进轨道交通装备及关键部件工程

建立现代轨道交通装备核心技术、关键零部件及系统的研发、试验验证、标准及知识产权保护体系。开发高寒及城际动车组、交流传动快速机车、30吨轴重机车与货车、新型城轨车辆、大型施工装备、多功能高效率工程及养路机械。研发永磁电传动、磁悬浮、列车制动、牵引控制、安全监测、通信信号等关键技术，研制轮轴轴承、传动齿轮箱、转向架等关键零部件，加强产业化，提升核心部件及系统创新能力。到2015年，形成具有世界先进水平的轨道交通装备发展能力。

（十六）海洋工程装备工程

突破深水浮式结构物水动力性能、结构设计和强度分析等共性技术，加快发展深海高性能物探船和钻井船、浮式生产储油卸油装置、半潜式平台、水下生产系统、环境探测、观测与监测、深海运载及应急作业等装备及其关键配套设备和系统，建设液化天然气浮式生产储卸装置等新型装备总装制造平台，完善设计建造标准体系。到2015年，国产深海资源探采装备国内市场占有率明显提高，关键设备和系统实现配套，国际市场竞争力得到提升。

（十七）智能制造装备工程

突破新型传感、高精度运动控制、故障智能诊断等关键技术，大力推进泛在感知自动控制系统、工业机器人、关键零部件等装置的开发和产业化，开展基于机器人的自动化成形与加工装备生产线、自动化仓储与分拣系统以及数字化车间等典型智能装备与系统的集成创新，推进智能制造技术和装备在石油加工、煤炭开采、发电、环保、纺织、冶金、建材、机械加工、食品加工等典型领域中的示范应用。到2015年，具有自主知识产权的智能测控装置及零部件国内市场占有率达到30%，掌握智能制造系统关键核心技术，以传感器、自动控制系统、工业机器人、伺服和执行部件为代表的智能装置实现突破并达到国际先进水平，重大成套装备及生产线系统集成水平大幅提升，基本满足国民经济重点领域和国防建设的需要。

（十八）新能源集成应用工程

在风电、太阳能、海洋能发电等可再生能源电力开发集中区域，示范建设以智能电网为载体、发输用一体化、可再生能源为主的电力系统；选择可再生能源资源丰富、经济条件较好的城市，在公共建筑、商业设施和工业园区推进太阳能、

页岩气、生物质能、地热和地温能等新能源技术的综合应用示范；开展绿色能源和新能源区域应用示范建设，建成完善的县域绿色能源利用体系；在可再生能源丰富和具备多元化利用条件的中小城市及偏远农牧区、海岛等，示范建设分布式光伏发电、风力发电、沼气发电、小水电“多能互补”的新能源微电网系统。推进新能源装备产业化。到2015年，建成世界领先的新能源技术研发和制造基地。

（十九）关键材料升级换代工程

加快突破气相沉积、等静压、先进熔炼、高效合成等材料先进技术和装备，支持高强铝合金等轻型合金材料、稀有金属材料、装备制造和重大工程需要的高品质特殊钢开发；推进高强高模碳纤维等高性能纤维及其复合材料、全氟离子膜等功能性膜材料、医用材料、先进电池材料、高纯硅等新型半导体材料、纳米绿色印刷材料和技术的产业化；开展高磁感取向硅钢、铁基非晶带材、高饱和磁感铁基纳米晶材料等金属合金材料、无机改性高分子材料、高性能复合材料以及新型绿色节能建材等在电力、交通运输、建筑等领域的应用示范；完善新材料认定及标准体系，建设一批新材料开发、检测、应用、信息等公共服务平台。到2015年，形成新材料持续发展的创新能力，一大批关键新材料的国内保障能力基本满足需求。

（二十）新能源汽车工程

建设新能源汽车公共测试平台、试验验证和应用综合评价体系，建立产品开发和专利数据库，重点研发动力电池、电机及控制系统等关键核心技术和新产品，加速纯电动、插电式混合动力汽车系列产品产业化，加大公共服务领域示范推广力度，扩大私人购买新能源汽车补贴试点城市范围和规模。推进充电网络体系和设施建设，探索新型商业化运行模式。

五、政策措施

（一）加大财税金融政策扶持

1. 加大财税政策扶持

在整合现有政策资源、充分利用现有资金渠道的基础上，建立稳定的财政投入增长机制，设立战略性新兴产业发展专项资金，着力支持重大关键技术研发、重大产业创新发展工程、重大创新成果产业化、重大应用示范工程及创新能力建设等。结合税制改革方向和税种特征，针对战略性新兴产业特点，加快研究完善和落实鼓励创新、引导投资和消费的税收支持政策。

2. 强化金融支持

加强金融政策和财政政策的结合，运用风险补偿等措施，鼓励金融机构加大对战略性新兴产业的信贷支持。发展多层次资本市场，拓宽多元化直接融资渠道。大力发展债券市场，扩大公司债、企业债、短期融资券、中期票据、中小企业集合票据等发行规模。进一步完善创业板市场制度，支持符合条件的企业上市融资。推进场外证券交易市场建设，满足处于不同发展阶段创业企业的需求。完善不同层次市场之间的转板机制，逐步实现各层次市场有机衔接。扶持发展创业投资企业，发挥政府新兴产业创业投资资金的引导作用，扩大资金规模，推动设立战略性新兴产业创业投资引导基金，充分运用市场机制，带动社会资金投向处于创业早中期阶段的战略性新兴产业创新型企业。健全投融资担保体系。引导民营企业和民间资本投资战略性新兴产业。

（二）完善技术创新和人才政策

1. 加强企业技术创新能力建设

构建新兴产业技术创新和支撑服务体系，加大企业技术创新的投入力度，对面向应用、具有明确市场前景的政府科技计划项目，建立由企业牵头组织、高等院校和科研机构共同参与实施的有效机制。依托骨干企业，围绕关键核心技术的研发、系统集成和成果中试转化，支持建设若干具有世界先进水平的工程化平台，发展一批企业主导、产学研用紧密结合的产业技术创新联盟，支持联盟成员构建专利池、制定技术标准等。进一步加强财税政策的引导，激励企业增加研发投入。

2. 加强知识产权体系建设

加强重大发明专利、商标等知识产权的申请、注册和保护，鼓励国内企业申请国外专利。健全知识产权保护相关法律法规，制定适合战略性新兴产业发展的知识产权政策。建立公共专利信息查询和服务平台，为全社会提供知识产权信息服务。针对我国企业在对外贸易投资中遇到的知识产权问题，尽快建立健全预警应急机制、海外维权和争端解决机制。大力推进知识产权的运用，完善知识产权转移交易体系，规范知识产权资产评估，推进知识产权投融资机制建设。

3. 加强技术标准体系建设

制定并实施战略性新兴产业标准发展规划，加快基础通用、强制性、关键共性技术、重要产品标准研制的速度，健全标准体系。建立标准化与科技创新和产业发展协同跟进机制，在重点产品和关键共性技术领域同步实施标准化，支持产学研联合研制重要技术标准并优先采用，加快创新成果转化和产业化步伐。

4. 建设高素质人才队伍

支持企业人才队伍建设。加快完善高校和科研机构科技人员职务发明创造的激励机制。加大力度吸引海外优秀人才来华创新创业，依托“千人计划”和海外高层次创新创业人才基地建设，加快吸引海外高层次人才。加强高校和中等职业学校战略性新兴产业相关学科专业建设，改革创新人才培养模式，建立企校联合培养人才的新机制，促进创新型、应用型和复合型人才的培养。

（三）营造良好的市场环境

1. 完善市场培育、应用与准入政策

鼓励绿色消费、信息消费、健康消费，促进消费结构升级。加大节能环保、新能源、新能源汽车等市场培育与引导力度，培育发展新业态。加快建立有利于战略性新兴产业发展的相关标准和重要产品技术标准体系，优化市场准入的审批管理程序。

2. 深化国际合作

引导外资投向战略性新兴产业，丰富外商投资方式，拓宽外资投资渠道，不断完善外商投资软环境。继续支持引进先进的核心关键技术和设备。鼓励我国企业和研发机构在境外设立研发机构，参与国际标准制定。扩大企业境外投资自主权，支持有条件的企业开展境外投融资。完善相关出口信贷、保险等政策，支持拥有自主知识产权的技术标准在国外推广应用。支持企业通过境外注册商标、境外收购等方式，培育国际化品牌，开展国际化经营，参与高层次国际合作。国家支持战略性新兴产业发展的政策同等适用于符合条件的外商投资企业。

（四）加快推进重点领域和关键环节改革

完善相关市场开放机制，深化民间投资准入改革，鼓励各类企业投资战略性新兴产业。推行能效“领跑者”制度，建立健全排污权、节能量和碳排放交易制度，推进环保和资源税费、价格改革；建立生产者责任延伸制，建立资源循环利用产品认证体系和再制造产品标识管理制度；大力推进环境标志产品认证和政府绿色采购制度，积极倡导绿色消费。建立健全推进三网融合的政策和机制，深化电信体制改革，推进有线电视网络整合和运营机构转企改制，按照分业管理的原则探索建立适应三网融合要求的电信、广电监管体制和协调高效的运行机制，完善相关法规标准，推动三网融合高效有序开展。加强生物安全管理，完善药品、医疗器械注册管理、价格管理、集中招标采购、安全评价与监督管理等机制，制定实施有利于绿色生物基产品发展的激励政策。加快制定民用航空工业法律法

规，加快推进空域管理体制改革，建立空域灵活使用机制，优化航路航线和飞行繁忙地区空域结构，推进低空空域开放；完善卫星应用数据共享、市场准入等政策法规；支持智能制造装备首台（套）研发创新和产业化，探索首台（套）装备保险机制。实施可再生能源发电配额制，落实可再生能源发电全额保障性收购制度，深化电力体制改革，完善新能源发电补贴机制，建立适应风电、太阳能光伏发电发展的电网运行管理体系；完善生物燃料、能源化利用农林废弃物的激励政策及市场流通机制等。

六、组织实施

（一）加强统筹协调

有效统筹协调中央、地方和其他社会资源，促进军民融合，突出重点，集中支持本规划明确的重大产业创新发展工程、重大关键技术研发与创新成果产业化、重大应用示范工程、创新能力建设等。加强与科技重大专项的衔接，发挥科技重大专项的引领带动作用。营造公平竞争环境，激发和调动各类市场主体的积极性，引导加大对战略性新兴产业的投入，加快推进战略性新兴产业发展。

（二）加强宏观引导

优化产业布局，加强对地方发展战略性新兴产业的信息引导和宏观指导，明确不同区域总体功能定位和重点发展方向。各地要结合国家战略性新兴产业发展重点，从当地实际出发，重点发展具有竞争优势的特色新兴产业，避免盲目发展和重复建设。强化行业和企业自律，发挥行业协会在企业投资、经营决策方面的指导、协调和监督作用。加强市场信息预警与引导，定期向社会发布战略性新兴行业产能规模、产能利用率及生产、技术、市场发展动向等信息。

（三）培育发展产业示范基地

依托现有优势产业集聚区，充分利用现有资源，促进技术、人才、资金等要素向具有技术创新优势的企业和产业集聚，建设一批体制机制健全、市场活力大、产业链完善、辐射带动强、具有国际竞争力的战略性新兴产业示范基地，培育战略性新兴产业增长极。发挥创新资源密集、创新环境良好区域的比较优势，完善创新创业体系，推进先行先试，培育若干全国战略性新兴产业的策源地。

（四）完善规划体系

根据本规划提出的重点方向和任务，研究制定战略性新兴产业分类及重点产品和服务指导目录，健全统计监测体系。制定实施节能环保、新一代信息技

术、生物、高端装备制造、新能源、新材料、新能源汽车产业等专项规划，明确实施内容和实施机制。鼓励相关省（区、市）联合编制区域性发展规划，推进战略性新兴产业差别化、特色化协同发展。各专项规划和地方规划要加强与本规划的衔接。

（五）加强组织实施

成立由发展改革委、科技部、工业和信息化部、财政部等有关部门参加的战略性新兴产业发展部际协调小组，加强统筹协调和督促落实。协调小组办公室设在发展改革委，承担协调小组的日常工作。根据规划实施的需要，组建由相关部门组成的政策工作组，加强沟通协调，及时制定出台有关政策措施。

有关部门要加强相关战略性新兴产业的统计和监测，加强形势分析，及时发布产业发展信息。发展改革委要会同有关部门加强对规划实施情况的跟踪分析和监督检查，及时开展后评估；要针对规划实施中出现的新情况新问题，适时提出解决办法，重大问题及时向国务院报告。

附录 B “数控一代”装备创新工程行动计划

工信部联装［2012］251 号

工业和信息化部　中国工程院

二〇一二年六月

根据《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》和《工业转型升级规划（2011—2015 年）》的精神，为切实推进装备制造业转型升级，提高产业核心竞争力，特制定《“数控一代”装备创新工程行动计划》，计划期为 2011—2020 年。

一、背景和意义

数控技术是用数字信息技术对工作过程和机械运动进行控制的技术，数控装备是信息技术与机械技术深度融合的典型体现。综观全球实现产业结构调整和机械产品升级的历程，其基本特征是：蒸汽机技术使机械工业由人力制作时代进入机械化时代；电气技术使机械工业由机械化时代进入电气化时代；当前，数控技术正在使机械工业由电气化时代跃升为数控化时代；在可预见的未来，机械工业将由数控化时代进入智能化时代。装备的数控化已成为重要发展趋势，美国、日本、德国等工业发达国家高度重视发展高技术装备，并强调用数控技术改造提升传统装备制造业。我国装备制造业经过十几年的发展，数控装备在国内市场的比重不断提高，已形成较强的创新能力，为进一步推进装备数控化奠定了坚实基础。

实施“数控一代”装备创新工程就是在各类装备上推广应用数字化控制技术，集成创新一批数控装备，实现装备性能、功能的升级换代，甚至根本性的变化，进而推进装备制造业转型升级。随着国民经济发展模式的改变和我国人力资源成本上升等经济发展环境的变化，对装备的高效、低耗、清洁和功能性能等方面都提出了更高的要求，当前装备的升级换代迫在眉睫，该工程的实施具有重要意义：

——是促进装备制造业转型升级的重要途径。数控技术应用可使装备本身内涵发生深刻变化，使传统装备的功能极大丰富、性能发生质的飞跃，进而促进装备制造业的转型升级。

——是发展智能制造装备等战略性新兴产业的重要支撑。推进数控技术在装备上的集成创新和应用，提高装备的数控化水平是推进两化深度融合的重要切入点，也为发展智能制造装备和物联网等战略性新兴产业提供重要支撑。

——是适合我国国情的一种集成创新方式。推动数控技术与机械技术的结合，集成开发一批具有新功能、新特点的数控装备，符合当前我国装备制造业和数控技术所处的发展阶段，是特别适合国情的、有效的集成创新方式。

——是实现由装备制造大国向强国转变的加速器。实施“数控一代”装备创新工程，推进装备数控化，对提高劳动生产率、提升装备技术性能和附加价值、实现装备制造业由大变强，将发挥助推和加速的作用。

二、指导思想和行动目标

（一）指导思想

深入贯彻落实科学发展观，坚定不移地走新型工业化道路，围绕工业转型升级和培育发展战略性新兴产业的需要，以提高生产过程的高效、低耗、清洁和可持续发展为宗旨，以装备的数控化为手段，以数控技术开发与推广服务平台建设为着力点，推进工业化和信息化深度融合。遵循以点带面，扩大范围和逐步深入的思路，重点突破通用型和专用型数控系统及数控装置关键技术，集成创新一批典型数控装备并实现产业化，推动数控技术、数控装置和数控装备在各行业广泛应用，促进装备制造业转型升级。

（二）行动目标

经过十年时间的努力，数控技术和装置得以普遍推广应用并实现产业化，装备技术水平和附加值显著提升，生产效率大幅提高，带动装备制造业转型升级。

2020 年具体目标如下：

——装备数控化水平大大提升，典型领域数控装备形成较强的国际竞争力。开发一批通用型和专用型数控装置，实现规模化和批量生产；开发一批国际领先的新型数控装备，典型行业装备数控化率达到 70%。

——数控装备开发及推广服务能力显著增强，形成比较完善的技术服务体系。建设一批开放式数控技术开发与推广服务平台，提升售后服务能力，持续不断地培养大批能够对数控装备进行操作和维修的技能人才。

——实现数控装备广泛应用，经济效益和社会效益显著。建立若干数控装备应用示范区，认定一批数控装备推广和应用示范企业；重点应用领域生产效率提

高 20% 以上，能源、资源消耗降低 30% 以上。

三、主要行动

为实现上述目标，重点组织实施五大行动：

（一）数控技术开发与推广服务平台建设行动

以数控装置的制造企业为依托，与应用领域行业组织、装备制造企业紧密结合，建立面向特定领域的数控技术开发与推广服务平台。

1. 平台主要功能

——促进数控装置制造企业、装备制造企业和最终用户信息沟通，实现产需有效对接。

——为特定领域提供专用数控技术与装置的开发应用服务。

——数控技术的推广应用。

——研究制定数控装置和数控装备标准。

——数控技术的专业人才与技工培训。

2. 平台认定

——由工信部发布重点领域平台建设指南，制定平台建设标准。

——由省市工业主管部门推荐，以数控装置生产企业为依托，与装备制造企业联合申报，相关行业组织参与实施。

——工业和信息化部会同中国工程院组织专家评审后予以认定并公示。

3. 平台建设

选择纺织机械、塑料及橡胶加工机械、节能产品等行业，建立数控技术开发与推广服务平台。

平台建设以市场需求为导向，以数控技术推广为切入点，以数控装备产业化为目标，充分发挥市场机制作用，形成数控装置与数控装备制造企业利益共享、风险共担的合作发展模式。

（二）数控技术开发与产业化行动

围绕装备数控化的需要，依托数控技术开发及推广服务平台，通过产学研用合作，开发一批满足市场需求、经济适用的通用和专用数控系统及伺服驱动装置，加快产业化进程。

1. 数字控制系统及软件

进一步提高量大面广的通用可编程控制器、人机界面装置、一体化控制器及

软件包等产品的质量和可靠性，加强与典型行业制造工艺相结合的专业应用软硬件开发，满足行业数控装备发展的需要。建立数字控制系统软硬件开发平台，实现数字控制系统的快速设计与开发，加快推广应用和产业化。

2. 伺服驱动装置与电机

重点开发各种数控装置需要的伺服驱动装置与电机，如数字伺服控制系统、网络分布式伺服系统等伺服驱动装置，节能电机与变频电机等。

3. 变频装置

重点开发大功率、高性能变频调速系统，牵引用变频调速装置及特殊调速用变频调速装置。

（三）数控装备集成创新行动

本着重点突破、整体推进的原则，围绕装备制造领域转型升级，结合行业特点，选择有代表性的装备，推广应用数控技术和数控装置，集成创新一批典型数控装备。

重点行业的选择原则：市场需求量大，劳动强度大，安全保障条件亟待改善；已有一定产业基础，但装备数控化水平尚需大幅提高；装备实现数控化后经济效益和社会效益明显。

工程实施初期，重点围绕纺织机械、塑料及橡胶加工机械、中小型机床与基础制造装备、印刷机械、包装机械、食品加工机械、制药机械、高效节能产品等，实现数控化集成开发。在取得成效后，及时总结经验，在更大范围推广。

1. 纺织机械

推进纺织专用数控系统、无铁心盘式电机伺服驱动系统、独立伺服驱动系统的应用，集成开发数控剑杆 / 喷水 / 喷气织机、数控高速经编机、半自动 / 全自动转杯纺纱机、自匀整梳棉机等纺织机械，实现参数精确控制、多电机传动控制等功能，提高生产效率和纺织品质量。

2. 塑料及橡胶加工机械

推进伺服驱动及控制装置、专用数控系统等在塑料机械中的应用，集成开发全电动 / 伺服驱动注射成型机、伺服直驱驱动 / 变频控制挤出机、多层共挤吹塑成套设备、数字化压延生产成套设备，提高设备精度、生产效率和产品质量，显著降低设备能耗。

3. 中小型机床与基础制造装备

推进数字调速技术、变频动态控制技术、伺服控制技术和无线通讯技术的应

用，集成开发中小型车床、铣床、钻床、磨床、木工机械、冲压 / 锻压 / 挤压设备、焊接设备、热处理设备以及特定行业专用成套设备，提高装备数控化水平和生产效率。

4. 印刷机械

推进电子轴（无轴）传动系统、墨色控制数控装置、压电式数控喷墨打印头等关键系统与装置的应用，集成开发计算机直接制版机（CTP）、数字喷墨印刷机、伺服驱动胶印机、数字印刷胶装联动线，实现印刷过程精确控制、参数自动调节等功能，显著提高印刷效率和印刷品质量。

5. 包装机械

集成开发全自动数控旋转式塑料瓶吹瓶机、全自动轻量化瓶饮料吹灌旋一体机、全自动粘流体灌装一体机、全自动连续拉伸食品真空包装机、数控瓦楞纸包装箱横切机，实现自动检测、精确控制等功能，提高生产效率和包装合格率。

6. 食品加工机械

采用精确定位、速度协调控制、视频检测等技术，集成开发数控肉类屠宰加工设备、数控制冷滚揉机、香肠剪切机，提高食品加工效率和质量，降低生产成本和废品率，满足食品卫生要求。

7. 制药机械

集成开发冻干自动生产线、洗灌封生产线、贴标装盒打包生产线，实现制药过程的数字化和自动化，防止人为污染，确保产品制造过程符合国家《药品生产质量管理规范》（GMP）和产品的质量可追溯性。

8. 高效节能产品

集成开发数控化的工业炉窑、风机、电机、压缩机、泵等量大面广的典型高效节能产品，实现产品使用过程节能减排降耗及安全运行。

（四）数控装备示范推广行动

积极推动数控装置开发与产业化、数控装备集成创新成果的应用，开展区域示范和企业示范。

1. 数控装备区域示范

认定一批装备制造业基础条件良好的集聚区作为数控装备应用示范区。示范区应具备条件是：

——该集聚区具有良好的数控装备应用基础，并在一些领域形成规模应用，具有显著的经济效益和社会效益。

——当地政府高度重视，有切实可行的数控化推进计划，并落实相应配套保障措施。

——具有区域数控技术与装备研发创新、试验检测、推广服务、人员培训等技术服务基础，具备良好的数控技术推广应用服务条件。

——具有数控化改造现有装备的技术基础和市场条件。

2. 数控装备企业示范

选择一批基础条件良好、示范带动作用强的企业，实施企业示范行动。

（1）制造企业推广应用示范。示范企业应具备的基本条件：

——具有较完善的数控装备生产及试验研究条件。

——所开发的数控技术与装置在典型领域得到很好的推广应用。

——具有既熟悉数控技术、又熟悉用户工艺的复合型创新人才队伍和高素质技工队伍。

——具有较高的研发设计、经营管理信息化水平。

（2）数控装备用户企业示范。示范企业应具备的基本条件：

——用数控装置、数控装备对现有生产装备和生产过程进行改造提升，并取得高效、低耗、清洁的显著效应。

——具备一批数控装备操作技工和优秀管理队伍。

——企业具备产品研发设计、生产管理、销售及售后服务全过程的信息化应用基础。

上述区域示范、企业示范单位由省市工业主管部门推荐，经工业和信息化部会同中国工程院组织评审后，分别授予“国家级数控装备新型工业化示范基地”、“国家数控装备推广示范企业”和“国家数控装备应用示范企业”。

（五）数控装备技术规范和标准体系建设行动

1. 标准体系建设

引导产学研用各方面力量共同推进典型数控装备技术规范和技术标准的研究，充分发挥数控技术开发与推广服务平台在制定标准方面的作用，加快完善数控装备标准体系，包括数控技术标准、通讯标准、装备精度标准等。鼓励行业组织和企业积极参与国际标准的制修订，推动我国技术标准国际化。

2. 加强知识产权保护

强化知识产权意识，将知识产权管理纳入创新工程管理全过程，推动企业、科研院所、高等院校加大知识产权的登记、应用和保护力度，鼓励企业联合构筑

专利共享平台。充分发挥行业组织在保护知识产权方面的重要作用。

四、保障措施

（一）进一步做好统筹规划

根据各领域技术发展特点，结合两化融合推进工作，研究制定相关规划和落实行动计划的实施细则。充分发挥地方工业主管部门的积极性，结合地方经济发展和产业转型需求，共同推动“数控一代”装备创新工程的实施。进一步研究鼓励数控技术推广服务平台建设、数控技术开发与产业化行动、数控装备集成创新行动、数控装备示范推广行动、数控装备技术规范和标准体系建设的资金、税收、技改贷款贴息等政策。

（二）加大政策扶持力度

加大技术改造专项、科技成果转化、战略性新兴产业发展专项、软件企业认定、新型工业化示范基地认定等已有政策手段对“数控一代”工程的支持力度，鼓励和支持企业加大数控装备研发、装备数控化改造、数控装备产业化的资金投入。研究制定引导社会资金向推广应用数控装备集聚的政策，鼓励金融机构以多种方式支持数控装备开发和推广应用。探索“数控一代”装备创新工程发展基金及推进创新成果应用示范的鼓励政策，充分利用所得税减免、固定资产加速折旧等税收优惠政策，对示范基地和示范企业给予支持。参与工程实施的省市应制定相应鼓励政策，共同推进“数控一代”工程的实施。

（三）做好相关科技成果的推广应用

加强本创新工程与《高档数控机床与基础制造装备》、《核心电子器件、高端通用芯片及基础软件》科技重大专项的衔接和联动，加大重大专项研究成果（国产数控系统及装置和应用软件）的推广应用。充分利用科技支撑计划中《“数控一代”机械产品创新应用示范工程》所取得的研究成果，结合企业技术改造和创新工程行动，加大“数控一代”装备的产业化和推广应用，切实促进产业结构调整。

（四）建立和完善数控装备应用示范评价机制

研究制定数控技术开发与推广服务平台、数控装备示范区和示范企业认定管理实施细则，建立有效的数控技术开发与推广服务平台、数控装备示范区和示范企业评价考核体系，建立数控装备示范区和示范企业的动态认定和有效期复审考核制度，示范认定标准将随着技术水平提升和经济发展进行调整。

（五）加强行业管理

发挥行业协会的桥梁、纽带作用，鼓励行业协会积极参与“数控一代”工程的实施，加强各领域基础数据的统计分析工作，建立行业信息定期发布制度和行业预警制度，引导行业健康快速发展。探索建立数控装备产品认定认可制度，加大行业准入管理，加强行业自律，规范行业市场。结合《产业结构调整目录》，加速淘汰数控水平低、工作效率低、能源消耗高的落后机电产品，鼓励用户采用集成创新的新一代数控装备。

五、组织实施

工业和信息化部负责《“数控一代”装备创新工程》实施，建立工程实施分工协作的机制。地方工业主管部门结合本地区实际情况，制订区域规划和具体实施方案，并配套相关鼓励政策。

相关行业协会要制定本领域“数控一代”装备创新工程实施方案，组织协调与行业相关的工程项目实施工作，引导行业发展。

附录 C　高端装备制造业“十二五”发展规划

工业和信息化部

二〇一二年五月七日

高端装备制造业是以高新技术为引领，处于价值链高端和产业链核心环节，决定着整个产业链综合竞争力的战略性新兴产业，是现代产业体系的脊梁，是推动工业转型升级的引擎。大力培育和发展高端装备制造业，是提升我国产业核心竞争力的必然要求，是抢占未来经济和科技发展制高点的战略选择，对于加快转变经济发展方式、实现由制造业大国向强国转变具有重要战略意义。

根据《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》、《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》、《战略性新兴产业发展“十二五”规划》和《工业转型升级“十二五”规划》，编制本规划。规划期为 2011—2015 年。

一、发展现状与面临形势

高端装备主要包括传统产业转型升级和战略性新兴产业发展所需的高技术高附加值装备。按照《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》明确的重点领域和方向，现阶段高端装备制造业发展的重点方向主要包括航空装备、卫星及应用、轨道交通装备、海洋工程装备、智能制造装备。

经过改革开放 30 多年的快速发展，我国装备制造业取得了令人瞩目的成就，形成了门类齐全、具有相当规模和技术水平的产业体系，2009 年、2010 年连续 2 年产业经济总量位居世界第一，为高端装备制造业的发展奠定了坚实基础。

近 10 年来，我国高端装备制造业已形成一定的产业规模。2010 年，高端装备制造业实现约 1.6 万亿元销售收入，约占装备制造业销售收入的 8% 左右。整体技术水平持续提升，围绕国民经济各行业的迫切要求，开发出了一大批具有知识产权的高端装备，如百万千瓦级超超临界火电发电机组、百万千瓦级先进压水堆核电站成套设备、1 000kV 特高压交流输变电设备、±800kV 直流输变电成套设备、百万吨乙烯装置所需的关键装备、超重型数控卧式镗车床、精密高速加工

中心、2 000 吨履带起重机、ARJ21 新型支线飞机、“和谐号”动车组、3 000 米深水半潜式钻井平台等，气象卫星率先实现业务化运行，已初步形成了高端装备制造产业格局。

但是与世界先进水平相比，我国高端装备制造业仍存在较大差距。主要表现在：创新能力薄弱，核心技术和核心关键部件受制于人；基础配套能力发展滞后，装备主机面临“空壳化”；产品可靠性低，产业链高端缺位；产业规模小，市场满足率低；产业体系不健全，相关基础设施、服务体系建设明显滞后等。

当前，世界经济竞争格局正在发生深刻变革和调整。加速培育和发展高端装备制造业，既是构建国际竞争新优势，掌握发展主动权的迫切需要，也是转变经济发展方式，推进产业结构升级的内在要求。从国际看，金融危机使工业发达国家重新重视实体经济发展，提出了“再工业化”、低碳经济、下一代新能源、智慧地球等发展路线，瞄准高端制造领域，瞄准新兴产业，谋求塑造新的竞争优势。不仅对我国高端装备的未来发展构成激烈竞争，而且还将对已经形成优势的产品造成市场空间挤压。从国内看，国民经济重点产业的转型升级、战略性新兴产业的培育发展和国家重大工程建设等，对装备制造业绿色化、智能化、服务化提出了新的更高的要求，并提供了巨大的市场需求空间。未来 5 ～ 10 年，我国高端装备制造业将迎来发展的重要战略机遇期。“十二五”期间，必须科学判断和准确把握发展趋势，充分利用各种有利条件，抓住全球经济分工调整的重要战略机遇期，加大高端装备制造业的培育力度，加快推动“中国制造”向“中国创造”转变。

二、指导思想与发展目标

（一）指导思想

以邓小平理论和“三个代表”重要思想为指导，深入贯彻落实科学发展观，紧紧围绕工业转型升级和战略性新兴产业发展的重大需求，把大力培育和发展高端装备制造业作为加快转变经济发展方式的一项重要任务，立足国情，依托产业基础，按照市场主导、创新驱动、重点突破、引领发展的要求，发挥企业主体作用，推进产学研用结合，加大政策扶持力度，营造良好发展环境，着力提升技术创新能力，着力推进信息化与工业化深度融合，着力推动军民融合，努力把高端装备制造业培育成为具有国际竞争力的国民经济支柱产业，为建设装备制造业强国奠定坚实的基础。

（二）基本原则

坚持发展高端装备制造业与改造提升传统产业相结合。立足装备制造业现有技术积累、制造能力和产业组织基础进行布局，促进高端装备制造业相对集中发展，加快形成新的经济增长点。同时积极促进传统产业的高技术化，实现产业价值链从低端向高端跃升。

坚持技术创新与开放合作相结合。加快突破制约发展的关键技术、核心技术和系统集成技术，加强基础设施建设，大幅度提升技术创新能力。同时积极参与国际合作，充分利用全球创新资源，提高我国高端装备发展的起点。

坚持整体推进与重点跨越相结合。实施高端装备制造业发展总体战略，对相关领域发展进行全面部署，统筹规划，明确发展时序和空间布局。选择最有基础和条件的重点方向作为突破口，集中力量重点推进，促进重点领域率先发展。

坚持市场推动和政策引导相结合。注重发挥市场配置资源的基础性作用，调动企业主体的积极性，推进产学研用结合。在产业培育初期，要发挥政府的引导作用，加强规划引导、政策激励和组织协调，加快突破发展中的薄弱环节和瓶颈制约。

（三）发展目标

综合考虑未来发展趋势和条件，到 2015 年，我国高端装备制造业发展的主要目标是：

——产业规模跃上新台阶。高端装备制造业销售收入超过 6 万亿元，在装备制造业中的占比提高到 15%，工业增加值率达到 28%，国际市场份额大幅度增加。

——创新能力大幅提升。初步形成产学研用相结合的高端装备技术创新体系，骨干企业研发经费投入占销售收入比例超过 5%，形成一批具有知识产权的高端装备产品和知名品牌，培养一批具有国际视野的科技领军人才。

——基础配套能力显著增强。高端装备所需的关键配套系统与设备、关键零部件与基础件制造能力显著提高，其性能和质量达到国际先进水平，智能技术及核心装置得到普遍推广应用，高端装备重点产业智能化率超过 30%。

——产业组织结构进一步优化。形成一批具有国际影响力的企业集团和一大批具有竞争优势的“专、精、特、新”专业化生产企业，建成若干创新能力强、特色鲜明的高端装备制造集聚区，产业集中度明显提升。

力争通过 10 年的努力，形成完整的高端装备制造产业体系，基本掌握高端装备制造业的关键核心技术，产业竞争力进入世界先进行列。到 2020 年，高

端装备制造产业销售收入在装备制造业中的占比提高到25%，工业增加值率较“十二五”末提高2个百分点，将高端装备制造业培育成为国民经济的支柱产业。

三、发展重点和方向

培育发展高端装备制造业是关系国家综合实力、技术水平和工业基础的一项长期的重点任务。“十二五”期间，航空装备、卫星及应用、轨道交通装备、海洋工程装备和智能制造装备的重点任务是：

（一）航空装备

以市场应用为先导，以重点产品研制为主线，统筹航空技术研究、产品研发、产业化、市场开发与服务发展，重点加快大型客机、支线飞机、通用飞机和航空配套装备的发展，大型客机实现首飞，喷气支线飞机成功研制，实现支线飞机年销售100架，建立具有可持续发展能力的航空产业体系。

——大型客机。以满足国内中心城市点对点、点对枢纽机场的市场需求为目标，以市场需求量大的150座级为切入点，按照安全、经济、舒适和环保的要求，研制具有国际竞争力的150座级的C919单通道干线飞机，逐步形成产业化能力。开展未来型号前期研究。

——支线飞机。加快ARJ21-700型涡扇支线飞机研制，2012年前后取得中国适航当局的型号合格证和生产许可证，形成产业化能力，实现批量交付；2013年取得国外适航证书。同时，针对不同用户需求开展改进改型，适时启动加长型、公务型、货运型飞机研制，实现系列化。加快新舟60系列的改进改型和市场推广；适时启动新型支线飞机研制。

——通用飞机和直升机。在具有产业基础的地区，优先发展社会效益好、市场需求大和经济价值高的通用飞机，加快研制生产大型灭火和水上应急救援飞机，重点支持大中型特种飞机、中/重型直升机和高端公务机的发展，鼓励有条件的企业发展6座（含）以下轻小型通用飞机、水上飞机、无人机、特种飞行器和2t（含）以下直升机，充分利用已有/在研成熟通用飞机平台，通过不断改进、改型以及升级来满足用户需求。

——航空发动机。建立和完善航空发动机创新发展的工业体系，突破大型客机发动机关键核心技术，增强创新能力。加快新型航空发动机研制，开展大客商用发动机验证机研制，2015年完成中法合作中等功率涡轴发动机的研制，建立发动机总装生产线和实现批量交付。开展现有发动机改进改型。鼓励和支持有条

件的企业面向相市场需要，采取多种方式发展轻小型发动机，发展发动机专项技术和相关配套件。

——航空设备。大力发展航空机载、任务、空管和地面设备及系统，促进专业化、系列化、货架化和规模化发展，按照“系统、设备和器件”三个层次建立产业配套体系。以现有能力为核心，重点加快发展航电、通讯导航、液压、燃油、环控、电源、起落架、二次动力、生活设施、防火、照明、健康监控等系统供应商，逐步发展多个系统的集成供应商。大力发展低成本通用飞机的系统和设备。

（二）卫星及应用

紧密围绕国民经济和社会发展的重大需求，与国家重大科技专项相结合，以建立我国安全可靠、长期连续稳定运行的空间基础设施及其应用服务体系为核心，加强航天运输系统、应用卫星系统、地面与应用天地一体化系统建设，推进临近空间资源开发，促进卫星在农业、林业、水利、国土、城乡建设、环保、应急、交通、气象、海洋、远程教育、远程医疗等行业、区域发展以及公众生活中的应用，形成航天器制造、发射服务、应用设备制造和卫星运营服务构成的完整产业链。

——航天运输系统。继续实施重大工程，完善现役运载火箭系列型谱，积极开展更大推力运载火箭关键技术攻关。

——应用卫星系统。统筹发展气象、海洋、资源、环境减灾卫星，构建完整体系，满足多方面需求。积极发展新型通信广播卫星。

——卫星地面系统。完善现有气象、海洋卫星地面系统数据接收站，组建国家陆地观测卫星数据中心；建设和完善通信广播卫星地面系统、卫星地球站 / 地面关口站；建设和完善卫星导航基准站、卫星运行管理、卫星数据处理等地面配套设施。加强导航接收机、通信终端芯片等关键元器件和卫星地面设备的研制和产业化。

——卫星应用系统。实施遥感应用示范工程，提高我国空间数据的自给率，大力推进行业和区域应用。大力推进卫星通信在远程教育、远程医疗、应急通信等公共服务中的应用，积极支持直播卫星的应用服务。推进卫星导航在金融、电力、通信、交通、信息、农业、渔业等国家重点行业的应用，加强卫星导航应用技术研究、产品开发和标准体系建设。

（三）轨道交通装备

满足我国铁路快速客运网络、大运量货运通道和城市轨道交通建设，大力发展“技术先进、安全可靠、经济适用、节能环保”的轨道交通装备及其关键系

统，建立健全研发设计、生产制造、试验验证平台和产品标准、认证认可、知识产权保护体系，提升关键系统及装备研制能力，满足国内市场需要。大力开拓国际市场，使我国轨道交通装备全面处于世界领先水平。

——动车组及客运列车。全面掌握动车组及客运列车技术，提高客运轨道交通装备的可靠性、舒适性、可维护性，完善新一代高速动车组研制，开发适应高寒、高热、高风沙、高湿、广域等不同系列的谱系化动车组，满足跨线、跨网的旅客运输提速提效需要。以高速动车组技术为基础，结合城际交通实际，形成城际轨道交通装备产品技术平台与产业化体系，满足城际轨道交通需要。

——重载及快捷货运列车。全面突破 30t 及以上轴重重载机车、160km/h 速度快捷货运机车和货车技术，深入研究轴重与线路桥梁匹配关系、速度与牵引质量匹配关系、车辆与站场匹配关系等，开展全系列大功率交流传动机车、大轴重重载货车、快捷货运列车的配套研发，研发制造满足国际市场不同限界要求、不同供电制式的，覆盖全部货物运输需求的系列货运列车。

——城市轨道交通装备。进一步加强城轨车辆系统集成技术研发，完善城轨车辆产品技术平台，形成适应各个国家不同技术标准要求的、满足全球市场不同性价比、文化、环境等需要的多系列城轨车辆产品谱系，保持多样性发展。开展低噪、低振动、节能产品，加强关键核心部件，如牵引系统、制动系统、转向架、运控系统等，以及车辆车站机电设备、灭火系统、列车自动防护系统、列车自动驾驶系统等的技术研发与产业化。

——工程及养路机械装备。全面突破工程及养路机械装备关键技术，向性能优异化、效率高效化、品种多元化、产品系列化、工作智能化、作业环保化发展，加快研制、批量制造高精度和高效捣固稳定车、高效清筛机、带道砟分配功能的配砟整形车、道床综合处理车、钢轨打磨车和铣磨车、综合巡检车、高精度测量车、高速轨检车、钢轨探伤车、物料运输车、接触网综合作业车、轨道吸污车、轨道除雪车等新产品，研制轨道电力牵引双源制、高原型和多功能组合式工程及养路机械装备。

——信号及综合监控与运营管理系统。全面建成覆盖高、中、低速铁路和城际铁路的中国列车运行控制系统技术体系，全面实现关键技术和装备的研究开发，开展高速铁路宽带通信的关键技术、智能化高速列车系统数据传输与处理平台研究，开发城际先进的铁路列控系统和城市轨道交通控制系统。完善大型数据采集与监控系统平台关键技术，突破基于一个信息共享平台的行车监控应用技

术，实现行车、供电、机电、通信、防灾、工务、车辆等综合监控信息集成，形成综合调度指挥系统。开展基础设备设施领域的铁路地质灾害预报警系统研究，开展信息领域的轨道交通客站综合自动化系统研究。

——关键核心零部件。重点开展为高速铁路客车、重载铁路货车、新型城市轨道交通装备等配套的轮轴轴承、传动齿轮箱、发动机、转向架、钩缓、减振装置、牵引变流器、绝缘栅双极型晶体管（IGBT）器件、大功率制动装置、供电高速开关等关键零部件的研发和制造，提高质量水平，满足整机配套需求。

（四）海洋工程装备

面向国内外海洋资源开发的重大需求，以提高国际竞争力为核心，重点突破 3 000 米深水装备的关键技术，大力发展以海洋油气为代表的海洋矿产资源开发装备，全面推进以海洋风能工程装备为代表的海洋可再生能源装备、以海水淡化和综合利用装备为代表的海洋化学资源开发装备的产业化，积极培育海洋波浪能、潮汐能、海流（潮流）能、天然气水合物、海底金属矿产开发装备相关产业，加快提升产业规模和技术水平，完善产业链，实现我国海洋工程装备制造业快速健康发展。

——海洋矿产资源开发装备。以海洋油气资源开发装备为重点，大力发展半潜式钻井 / 生产平台、钻井船、自升式钻井平台、浮式生产储卸装置、物探船、起重铺管船、海洋钻采设备及其关键系统和设备、水下生产系统及水下立管等装备；积极开展天然气水合物、海底金属矿产资源开发装备的前期研究和技术储备，为培育相关产业奠定基础。

——海洋可再生能源和化学资源开发装备。以海洋风能工程装备为重点，大力发展海上及潮间带风机安装平台（船）、海上风机运营维护船、海上及潮间带风力发电装备等，全面推进海洋可再生能源的产业化；以海水淡化和综合利用装备为重点，促进海洋化学资源开发装备的产业化；积极开展海洋波浪能、潮汐能、海流能、温差能、海水提锂、海水提铀等开发装备的前期研究和技术储备。

——其他海洋资源开发装备。以海上浮式石油储备基地、海上后勤补给基地等装备为重点，加快关键设计、建造技术的研究和攻关；积极开展海上机场、海上卫星发射场等装备的前期研究，为工程研制奠定技术基础。

（五）智能制造装备

围绕先进制造、轻工纺织、能源、环保与资源综合利用等国民经济重点领域发展的迫切需要，坚持制造与服务并重，重点突破关键智能技术、核心智能测控

装置与部件，开发智能基础制造装备和重大智能制造成套装备，大力推进示范应用，催生新的产业，提高制造过程的数字化、柔性化及系统集成水平，加快推进信息化综合集成和协同应用，促进“两化”融合条件下的产业发展模式创新。

——关键智能基础共性技术。围绕感知、决策和执行等智能功能的实现，重点突破新型传感技术、模块化与嵌入式控制系统设计技术、先进控制与优化技术、系统协同技术、故障诊断与健康维护技术、高可靠实时通信网络技术、功能安全技术、特种工艺与精密制造技术、识别技术等九大类共性、基础关键智能技术，加强对共性智能技术、算法、软件架构、软件平台、软件系统、嵌入式系统、大型复杂装备系统仿真软件的研发，为实现制造装备和制造过程的智能化提供技术支撑。

——核心智能测控装置与部件。重点开发新型传感器及系统、智能控制系统、智能仪表、精密仪器、工业机器人与专用机器人、精密传动装置、伺服控制机构和液气密元件及系统等八大类典型的智能测控装置和部件并实现产业化。

——重大智能制造集成装备。重点开发石油石化智能成套设备、冶金智能成套设备、智能化成形和加工成套设备、自动化物流成套设备、建材制造成套设备、智能化食品制造生产线、智能化纺织成套装备、智能化印刷装备等八大类标志性的重大智能制造成套装备。

——重点应用示范推广领域。根据我国智能制造技术和智能测控装置的发展水平，立足制造业，在“十二五”期间重点选择在电力、节能环保、农业、资源开采、国防科技工业、基础设施建设等 6 个国民经济重点领域推广应用，分步骤、分层次开展应用示范，形成通用性、标准化的应用平台，加快推进技术、产业与应用的协同发展。

四、重大工程与区域发展重点

（一）重大工程

以推进高端装备规模化发展为目标，针对国民经济建设和战略性新兴产业发展的需要，组织实施重大产业创新发展工程，突破一批核心关键技术，开发一批高端装备产品并产业化，实现产业创新能力的整体提升。

1. 支线飞机和通用航空产业化工程

以满足我国民用航空运输发展的需求为目标，突破支线飞机、通用飞机和直升机高可靠性、低成本、数字化设计与制造技术。推进 ARJ21 支线飞机的批量交付和系列化发展，支持新舟系列支线飞机改进改型，研制新型支线飞机，发展

大中型喷气公务机和新型通用飞机（含直升机）；开展支线飞机市场应用，选择有条件的地区和行业开展通用航空服务试点示范。推动配套航空发动机、航空设备及航空维修、支援、租赁等产业配套体系建设。到 2015 年，我国支线飞机和通用航空产品发展能力大幅度提升。

2. 空间基础设施建设工程

建设时空协调、全天候、天地一体的地面配套设施；完善我国全球导航定位系统；启动由大容量宽带多媒体卫星、全球移动通信卫星等系统组成的空间信息高速公路建设。开展先进卫星平台、新型卫星有效载荷、卫星遥感定量化应用等关键技术研发，推进重点行业和领域的卫星系统应用示范，进一步提升卫星通信、卫星遥感和卫星导航定位应用产业化水平。到 2015 年，形成长期连续稳定运行、系统功能优化的国家空间基础设施骨干架构，大幅提升我国卫星提供经济社会发展需求空间信息的能力。

3. 先进轨道交通装备及关键部件创新发展工程

围绕高速客运列车、重载货运列车、城际及城市轨道交通车辆等高端轨道交通装备的发展需求，建立现代轨道交通装备的核心技术、关键零部件及系统的研发、试验验证、标准及知识产权保护体系。开发高寒及城际动车组、交流传动快速机车、30 吨轴重机车与货车、新型城轨车辆、大型施工装备、多功能高效率大型养路机械。研究永磁电传动、磁悬浮、列车制动、牵引控制、高铁安全监测、运营安全检测及维修、通信信号等关键技术，研制轮轴轴承、传动齿轮箱、转向架、牵引变流器、制动装置等关键零部件，加强产业化，提升核心部件及系统创新能力。到 2015 年，形成具有世界先进水平的轨道交通装备发展能力。

4. 深海工程装备发展工程

围绕海洋资源勘探、开采、储存运输和服务等四大核心环节，以突破 600 ～ 3 000 米深水资源开发装备关键技术为目标，重点突破深海浮式结构物水动力性能、结构设计和强度分析等关键共性技术，加快发展深海高性能物探船、浮式生产储油卸油装置、半潜式平台、水下生产系统、环境探测、观测与监测等装备及其关键配套设备和系统，建设液化天然气浮式生产储卸装置等新型装备总装制造平台，完善设计建造标准体系。到 2015 年，我国深海资源勘探开发装备、关键设备和系统的配套能力大幅度提升。

5. 智能制造装备创新发展工程

围绕智能制造过程中的感知、决策、执行三个关键环节，突破新型传感、高

精度运动控制、故障诊断与健康维护等关键技术，大力推进智能仪表、自动控制系统、工业机器人、关键执行和传动零部件的开发和产业化，开展基于机器人的自动化成形与加工装备生产线、自动化仓储与分拣系统以及数字化车间等一批典型标志性重大智能制造成套装备，推进智能制造技术、智能测控装备和智能基础制造装备在石油化工、煤炭开采、发电、环保、纺织、冶金、建材、机械加工、食品加工等典型制造领域中的示范应用。到2015年，智能制造装备技术创新体系初步建成，具有知识产权的智能测控装置及关键执行和传动零部件研制能力显著增强。

（二）区域发展重点

按照国家区域发展总体战略和全国主体功能区规划要求，立足装备制造业现有基础，充分考虑区域比较优势，促进高端装备制造业相对集中发展，形成区域发展新格局。

1. 引导区域高端制造业相对集中发展

紧密依靠本区域装备制造业现有的制造能力和产业组织，坚持突出重点和特色的战略取向，积极推进环渤海、长三角、珠三角优势区域率先发展，培育一批具有知识产权和知名品牌的世界级企业；促进中西部特色化发展，建设高端装备制造特色产业链；加快东北老工业基地振兴，以信息化、智能化、集成化为突破口，建成具有国际先进水平的高端装备制造研发基地。

2. 加强高端装备制造业示范基地建设

本着“布局合理、特色鲜明、集约高效、生态环保”的原则，积极推动以产业链为纽带、资源要素集聚的产业集聚地建设，创建一批以工业园区为主要载体，以高端装备产业集聚为主要特征的国家新型工业化产业示范基地，培育关联度大、带动性强的龙头企业，完善产业链协作配套体系，提高区域专业化分工和协作，引导区域高端装备制造业协调发展。

3. 产业区域发展重点

依托航空装备、卫星及应用、轨道交通装备、海洋工程装备、智能制造装备等现有产业基础，建设优势特色产业链，促进形成设计、制造、集成、关键系统及部件配套、维护检修、技术服务等能力。

五、政策措施

（一）加大金融财税政策支持力度

继续实施现行高端装备及基础件财税支持政策。编制高端装备制造业重点

技术与产品目录，加快实施重大产业创新工程，大力支持高端装备及其关键零部件、配套系统的研发和产业化。鼓励开展引进消化吸收再创新，对研制生产国家鼓励发展的高端重大技术装备，落实有关关键零部件、原材料进口税收优惠政策。积极研究完善针对高端装备制造业公共服务体系和重大创新工程的相关进口税收政策。建立支持高端装备制造业发展的多渠道、多元化的投融资机制。鼓励金融机构创新金融产品品种，支持高端装备制造企业融资、规模化发展；发挥现有装备制造业基金的作用，支持装备制造企业转型升级，发展高端装备；鼓励支持符合条件的高端装备制造企业上市，引导创业投资和股权投资向高端装备制造领域倾斜；鼓励金融租赁公司开展高端装备的融资租赁业务。

（二）大力实施技术改造

鼓励支持企业加大技术改造，加强产业基础能力建设，大力发展高端装备所需关键基础件，如精密轴承、高精度齿轮传动装置，工程机械用高压柱塞泵 / 电动机、密封件等基础零部件。加强基础研究和产品试验验证工作，提高高端装备制造业的技术服务能力和水平，加快产品的技术升级。大力提高加工设备水平，推广先进工艺技术，推进制造过程信息处理、生产控制、资源管理、质量检测、环保处理等典型环节的流程化再造，实现产品设计、制造、测试等环节的自动化，提高产品稳定性和生产效率，提升制造过程的绿色化和智能化水平。

（三）着力加强技术创新

健全产业创新体系，支持产业技术平台和技术创新服务平台建设，不断提高技术创新水平，增强为全行业服务的能力。加大技术创新力度，继续抓紧抓好高档数控机床与基础制造装备、大型先进压水堆和高温气冷堆核电站、极大规模集成电路制造装备及成套工艺等科技重大专项的实施工作，加强与战略性新兴产业重大创新发展工程的衔接，突破和掌握关键核心共性技术，加大关键制造装备研发力度，加强军民创新资源集成融合，支持促进技术成果工程化，为提升高端装备发产业化能力提供强有力支撑。

（四）优化产业组织结构

以促进高端装备制造规模化、集约化发展为目标，组织和引导高端装备制造领域的骨干力量，建立集“产、学、研、用”为一体的高端装备产业联盟，在科研开发、市场开拓、业务分包等方面开展合作，实现重大技术突破和科技成果产业化。大力推动优势企业实施品牌强企、国际化发展战略，积极开拓海内外市场，强强联合，跨国跨地区并购重组，做大规模，做强实力，加快培育形成一批拥有知识产权

的知名品牌、主业突出、带动明显、具有国际竞争力的跨国大企业集团。鼓励规模经济效益显著的基础零部件、工艺辅具和适宜专业化发展的配套产品制造企业开展专业化协作配套，形成一大批具有竞争优势的“专、精、特、新”中小企业。

（五）突出质量品牌建设

实施质量品牌提升工程，鼓励企业建立专利联盟，联合构筑专利共享平台，拥有关键技术和前沿技术的知识产权。建立完善高端装备及其技术、关键系统、零部件的研发、试验验证及知识产权保护体系。鼓励和支持企业在质量、安全、环保等方向采用国际标准和国外先进标准，强化高端装备可靠性技术研究与应用，提升装备产品质量和安全性、可靠性、实用性。鼓励企业提升品牌层次，扩大品牌影响，支持自有品牌在境外的商标注册和专利申请，促进自有品牌跨国经营与国际化发展。

（六）加大市场培育力度

充分发挥市场的基础性作用，加大机制体制创新力度，着力规范市场秩序，营造良好市场环境。建立依托重大工程发展高端装备的机制，鼓励由装备使用单位和制造企业共同开发高端装备。建立高端装备首台套保险机制和示范应用制度，加大对首台套及配套系统推广应用的支持。探索建立高端装备发展与重大项目审批的联动机制，对于重点领域工程项目的所需装备，组织使用单位、制造企业联合制定装备联合攻关方案，并加快实施。完善招投标制度，加强对招投标工作的指导和监管。推动配套设备及高端装备维修、支援、租赁、服务等产业配套体系建设。加快建立健全有利于高端装备制造业发展的行业标准和重点产业技术标准体系，组织实施智能制造示范工程，以应用拉动产业发展。

（七）加强人才队伍建设

加快实施《装备制造人才队伍建设中长期规划（2011—2020 年）》，依托国家相关人才工程、计划，大力实施人才强业战略。以建设创新型科技人才、急需紧缺专业人才和高技能人才队伍为先导，统筹装备制造经济管理人才、专业技术人才、技能人才队伍建设。加大海外高层次人才和国外智力引进工作力度，加速装备制造业人才国际化进程。充分发挥企业、科研院所、高校、职业院校和其他培训机构的平台作用，创新人才培养模式，提高人才培养质量。完善人才评价体系，健全激励与分配机制，营造良好的人才发展环境。

（八）提升对外合作水平

充分利用各种渠道和平台，积极探索合作新模式，融入全球产业链。鼓励境

外企业和科研机构在我国设立研发机构，支持国外企业和国内企业开展高端装备联合研发和创新。支持国内企业“走出去”，并购或参股国外高端装备制造企业和研发机构，支持国内企业培育国际化品牌，开展国际化经营，多层次参与国际合作。

六、规划组织实施

工业和信息化部会同发展改革委、财政部负责本规划的推动实施。建立跨区域、跨行业、跨部门分工协作、共同推进的工作机制，加强对规划实施的统一领导、精心组织，制订规划实施细则，确保各项任务和措施落到实处。建立规划实施动态评估机制，做好高端装备制造业运行监测，及时做好产业发展形势的分析和信息发布工作，引导产业健康发展。

各地工业和信息化主管部门要按照职责分工，抓紧制定与本规划纲要相衔接的实施方案，落实相关配套政策。相关行业协会及中介组织要充分发挥桥梁和纽带作用，积极参与相关工作，协同推动本规划纲要的贯彻落实。

附录 D　智能制造装备产业“十二五”发展规划

智能制造装备是具有感知、决策、执行功能的各类制造装备的统称。作为高端装备制造业的重点发展方向和信息化与工业化深度融合的重要体现，大力培育和发展智能制造装备产业对于加快制造业转型升级，提升生产效率、技术水平和产品质量，降低能源资源消耗，实现制造过程的智能化和绿色化发展具有重要意义。

为贯彻落实《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》、《战略性新兴产业发展规划》及《“十二五”工业转型升级规划》，推进我国智能制造装备产业的发展，依据《高端装备制造业发展规划纲要》，重点围绕智能基础共性技术、智能测控装置与部件、重大智能制造成套装备等智能制造装备产业核心环节，制定《智能制造装备产业“十二五”发展规划》，规划期为 2011—2015 年。

一、发展现状与面临形势

随着信息技术与先进制造技术的高速发展，我国智能制造装备的发展深度和广度日益提升，以新型传感器、智能控制系统、工业机器人、自动化成套生产线为代表的智能制造装备产业体系初步形成，一批具有知识产权的重大智能制造装备实现突破，2010 年工业自动化控制系统和仪器仪表、数控机床、工业机器人及其系统等部分智能制造装备产业领域销售收入超过 3 000 亿元。但是，作为一个正在培育和成长的新兴产业，我国智能制造装备产业仍存在突出问题，主要表现在：技术创新能力薄弱，新型传感、先进控制等核心技术受制于人；产业规模小，产业组织结构小、散、弱，缺乏具有国际竞争力的骨干企业；产业基础薄弱，高档和特种传感器、智能仪器仪表、自动控制系统、高档数控系统、机器人市场份额不到 5%。

当今，工业发达国家始终致力于以技术创新引领产业升级，更加注重资源节约、环境友好、可持续发展，智能化、绿色化已成为制造业必然发展趋势，智能制造装备的发展将成为世界各国竞争的焦点。“十二五”期间，国民经济重点产业的转型升级、战略性新兴产业的培育壮大和能源资源环境的约束，对智能制造装备产业提出了更高的要求，并提供了巨大的市场空间。未来 5 ～ 10 年，我国智能制造装备产业将迎来发展的重要战略机遇期。

二、指导思想和基本原则

（一）指导思想

深入贯彻落实科学发展观，坚持走新型工业化道路，推动信息化与工业化深度融合，面向国民经济重点产业的转型升级和战略性新兴产业培育发展的需求，以实现制造过程的智能化和绿色化为目标，以突破关键智能基础共性技术为支撑，以推进智能测控装置与部件的研发和产业化为核心，以提升重大智能制造装备集成创新能力为重点，促进示范应用推广，调整优化产业组织结构，增强产业国际竞争力。

（二）基本原则

1. 坚持市场导向与政府推动相结合

遵循市场经济规律，充分发挥市场需求的导向作用和市场优化配置资源的基础性作用，突出企业发展智能制造装备的主体地位。积极发挥各级政府部门在规划制定、组织协调、政策引导、市场环境改善中的重要作用。

2. 坚持重点突破与整体推进相结合

选择基础条件好、应用面广、带动作用强的智能测控装置和智能制造成套装备，加大支持力度，重点予以突破，形成一批具有国际先进水平的产品和知名品牌，辐射和带动产业的整体发展。

3. 坚持研究开发与示范应用相结合

围绕重点领域制造过程的智能化需求，加强关键智能技术、核心智能测控装置、成套智能制造装备的研究开发，大力推进智能测控装置和智能制造成套装备的示范应用推广。

4. 坚持装备制造与服务增值相结合

大力推进智能制造装备企业在工程承包、维修改造、备品备件供应、设备租赁、再制造等方面开展增值服务，促进智能制造装备企业由加工制造型向生产服

务型转变。

三、发展目标

总体目标：经过10年的努力，形成完整的智能制造装备产业体系，总体技术水平迈入国际先进行列，部分产品取得原始创新突破，基本满足国民经济重点领域和国防建设的需求。

到2015年：

——产业规模快速增长。产业销售收入超过10 000亿元，年均增长率超过25%，工业增加值率达到35%。智能制造装备满足国民经济重点领域需求。

——重点领域取得突破。传感器、自动控制系统、工业机器人、伺服和执行部件为代表的智能装置实现突破并达到国际先进水平，重大成套装备及生产线系统集成水平大幅度提升。

——组织结构优化升级。培育若干具有国际竞争力的大型企业集团，打造一批“专、精、特、新”的专业化企业，建设一批特色鲜明、优势突出的产业集聚区。

——创新能力显著提升。基本建成完善的产学研用相结合的产业创新体系，骨干企业研究开发经费占销售收入的比重超过5%。培养一大批知识复合型、具有国际视野的领军人才。

到2020年：

——将我国智能制造装备产业培育成为具有国际竞争力的先导产业。建立完善的智能制造装备产业体系，产业销售收入超过30 000亿元，实现装备的智能化及制造过程的自动化，使产业生产效率、产品技术水平和质量得到显著提高，能源、资源消耗和污染物的排放明显降低。

四、主要任务

为实现“十二五”时期的总体目标，围绕智能制造装备的发展方向，重点抓好以下主要任务。

（一）实施创新发展工程

以提升智能制造装备产业创新能力和产业规模化发展为目标，通过技术引领支撑，依托优势企业，统筹技术开发、工程化、标准制定、市场应用等环节，实施智能制造装备创新发展工程，强化产业创新能力建设，突破关键智能技术，推进智能测控装置和部件的研发和产业化，实现重大智能成套装备的集成创新，推

进关键智能技术、核心智能测控装置与部件、重大智能制造成套装备在典型制造领域中的示范应用，加快产业化进程。

（二）调整产业组织结构

培育具有国际竞争力的企业集团。通过重组、改制、兼并及相应的政策引导，积极推进智能制造装备企业的兼并重组，逐步形成具有核心技术及设备成套、工程总承包、投融资能力的企业集团，培育一批具有国际竞争力的智能制造装备企业。

鼓励企业专业化发展。对规模经济效益显著的仪器仪表、液压 / 气动 / 密封件及系统、齿轮传动、伺服装置企业予以支持，提高专业化程度和产品技术水平，发展成为“专、精、特、新”专业化、社会化配套企业。

（三）突出品牌质量建设

提升产品质量。贯彻落实“工业产品品牌和质量振兴战略”，加强质量基础能力建设，推进标准、计量、检测检验、质量控制技术、质量工程技术等在企业质量控制与质量管理以及质量监管体系环节中的应用，着力提升产品的安全性、可靠性、实用性。

加快品牌培育。实施“智能制造装备品牌建设工程”，根据区域发展优势，制订并实施品牌培育行动计划；引导企业针对国内外细分市场，促进品牌产品系列化发展；支持品牌产品在境外的商标注册和专利申请，促进品牌产品跨国经营与国际化发展。

（四）推动产业技术进步

完善技术创新体系。依托科研院所、高等院校和检测机构等现有资源，推动行业检测试验公共服务平台建设。鼓励组建企业主导、科研院所和高等院校参与的产业技术创新联盟。

加强企业技术改造。鼓励企业加大技术改造力度，完善科研试验设施建设，提高加工设备水平，推广先进工艺技术，提高制造过程的自动化水平，实现产品设计、制造、测试等环节的自动化，提高产品稳定性和生产效率，选择有条件的地区和企业开展数字化车间示范建设工程。

建立和完善标准体系。建立健全智能制造装备产业的标准体系，补充和修订国家标准、行业标准和企业标准，促进新技术、新工艺、新设备、新材料的推广应用，使我国智能制造装备产品的质量、安全、节能、环保等逐步达到国际先进水平。

提高制造过程信息化水平。加快推进制造过程信息处理、生产控制、资源管

理、质量检测、环保处理等典型环节的流程优化再造，提高安全和综合效益、降低能耗、减少污染物排放，大幅度提高制造过程信息化水平。加快推进信息化综合集成和协同应用，促进两化融合条件下的企业发展模式创新。

（五）优化产业空间布局

促进区域协调发展。充分发挥各区域智能制造装备产业和科技基础优势，强化区域优势产业，促进协调发展，按照优势突出、特色鲜明，在重点区域培育一批智能制造装备产业集群。

推动产业集聚发展。积极推动以产业链为纽带、资源要素集聚的产业集群建设，完善产业链协作配套体系。加强对集聚区的规划引导，提升信息网络、污染集中处理、公共服务平台等基础设施水平，促进产业集聚区规范有序发展。

五、重点发展方向

（一）关键智能基础共性技术

围绕感知、决策和执行等智能功能的实现，针对测控装置、部件和重大智能制造成套装备的开发和应用，突破新型传感原理和工艺、高精度运动控制、高可靠智能控制、工业通信网络安全、健康维护诊断等一批共性、基础关键智能技术，为实现制造装备和制造过程的智能化提供技术支撑。

（二）核心智能测控装置与部件

围绕重大智能制造成套装备研发以及智能制造技术的推广应用，开发机器人、感知系统、智能仪表等典型的智能测控装置和部件并实现产业化。在充分利用现有技术和产品的基础上，进一步实现智能化、网络化，形成对智能制造装备产业发展的有力支撑。

（三）重大智能制造成套装备

突出制造业所需装备，针对石油化工、冶金、建材、机械加工、食品加工、纺织、造纸印刷等制造业生产过程数字化、柔性化、智能化的需要，发挥产学研用相结合的创新机制，依托有明确需求的用户，组织“产、学、研、用”共同参与的创新团队，推动软硬件在数控 / 工业控制装备中的应用与推广，通过集成创新，开发一批标志性的重大智能制造成套装备，保障产业转型升级。并结合国家重大工程建设，推进示范应用，加快产业化。

（四）重点应用示范领域

根据我国智能制造技术和智能测控装置的发展水平，立足制造业，在

“十二五”期间重点选择在电力、节能环保、农业、资源开采、国防军工等国民经济重点领域推广应用，分步骤、分层次开展应用示范，形成通用性、标准化、知识产权的应用平台，加快推进产业、技术与应用协同发展。

六、政策保障措施

（一）加大资金支持力度

加快实施《高档数控机床与基础制造装备》科技重大专项，加强对高档数控系统、伺服驱动装置、机床自诊断技术等技术与装置研发投入力度，提高主机的智能化水平，推进系统集成和成套，开发一批智能化成形和加工成套设备。重点支持智能技术、智能测控装置与部件、重大智能制造成套装备的研发、产业化和应用推广。引导地方、企业和社会资本加大对智能制造装备产业的研发和产业化资金投入。

（二）建立依托工程发展机制

建立完善依托工程发展智能制造装备机制，优先鼓励由用户企业和制造企业组成的产业联盟参与工程招投标，共同开发重大智能制造成套装备，鼓励金融机构开展多种形式的首台（套）保险业务。积极落实首台（套）政策，支持智能制造装备应用推广。

（三）加强国际合作与交流

多层次、多渠道、多方式推进国际合作与交流，鼓励和境外企业及科研机构开展多种形式的研究合作，鼓励企业积极参与技术标准、政策法规的国际交流和协调，完善出口信贷、保险政策，支持智能制造技术、装备及工程服务出口。

（四）推进人才队伍建设

积极营造良好环境，培养一批具有国际领先水平的专家和学术带头人，培养和锻炼一批优秀的从事智能技术和装备研发和创新的团队，培养和造就大量面向高层次需求的实战型工程技术人才。建立科研机构、高校创新人才向企业流动的机制，建立企校联合培养人才的新机制，促进创新型、应用型、复合型和技能型人才的培养。

（五）完善产业发展体系

组织编制智能制造装备产业分类目录，建立运行监测、信息发布与分析评价体系，及时制订促进行业发展的相关政策和技术标准，加强金融、贸易、土地、环保、安全生产等政策与智能制造装备产业政策的有效衔接。充分发挥行业协

会、中介组织在行业管理中的积极作用。

七、规划组织实施

工业和信息化部牵头负责《规划》实施，建立各部门分工协作、共同推进的工作机制，建立规划实施动态评估机制。地方工业主管部门及相关企业结合本地区和本企业实际情况，制订与本规划相衔接的实施方案。相关行业协会及中介组织要发挥桥梁和纽带作用，及时反映规划实施过程中出现的新情况、新问题，提出政策建议。

附录 E “数控一代”机械产品创新应用示范工程“十二五”规划

国科发高［2012］131 号

科技部　工业和信息化部　中国工程院

二〇一二年三月十六日

前言

数控技术是将机械设备运动和工作过程自动控制结合的技术，它集成计算机、微电子、自动控制等高新技术于一体。随着控制技术、计算机技术、功率器件技术、电机技术的突破，数控技术已达到技术成熟、性价比能被市场所接受的程度，它的应用将使制造设备及产品本身内涵发生根本性变化，使传统制造装备及产品的功能极大丰富、性能发生质的飞跃，是一个国家制造业核心竞争力的重要标志。数控技术的应用与推广，将促使我国机械装备产业向结构优化、技术先进、附加值高的现代产业体系快速发展，对加快我国机械装备产业的转型升级，促进经济发展方式转变具有重要意义。

从“六五”计划开始，在国家持续六个五年计划支持下，我国数控装备制造和数控系统已形成较完备的产业体系和研发体系，中高档以下的数控装备及产品在国内市场比重不断提高，并具有一定规模出口，为推广普及数控技术、提高机械产品创新能力奠定了较为坚实的基础。

“十二五”期间，科技部牵头将组织开展“数控一代机械产品创新应用示范工程”（以下简称“示范工程”），全面推广应用数控技术，实现我国机械产品的转型升级，提高机械产品的自主创新能力和产品附加值，大力促进机械工程领域的科技进步。

一、形势与需求

我国国民经济和社会发展“十二五”规划纲要指出，“‘十二五’时期是全

面建设小康社会的关键时期，是深化改革开放、加快转变经济发展方式的攻坚时期，必须深刻认识并准确把握国内外形势新变化新特点，继续抓住和用好重要战略机遇期，努力开创科学发展新局面。”加快转变经济发展方式，最根本的是依靠科技力量，最关键的是提高自主创新能力。

《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》要求：坚持走中国特色新型工业化道路，必须适应市场需求变化，根据科技进步新趋势，发展结构优化、技术先进、附加值高的现代产业体系；改造提升制造业重点就是优化结构，改善品种质量，增强产业配套能力，淘汰落后产能，运用数控技术实现机械装备的更新换代。

（一）发展现状与趋势

数控技术是将机械设备运动和工作过程自动控制结合的技术，它的应用将使制造设备及产品本身内涵发生根本性变化，使传统制造装备及产品的功能极大丰富、性能发生质的飞跃，是一个国家制造业核心竞争力和整体制造技术水平的重要标志。

我国机械装备发展已取得巨大成就，但机械产品仍存在着附加值不高、竞争力不强等较严重的问题，高端机械产品仍大量依赖进口。产品创新不足和质量问题是造成这种局面的主要原因。

从纺织机械、印刷和包装机械、轻工机械、建材机械、塑料及其他行业机械等的情况来看：

1. 纺织机械

进入 WTO 以来，中国已成为全球最大的纺织品生产国和出口国，2010 年纺织行业总产值 47 650 亿元，较 2005 年增长了 1.31 倍。我国纺织工业在高速发展的同时，运行质量也有了较大的提升。以行业的生产率为例，按工业总产值计算，2010 年纺织产业生产率为 41.08 万元 / 人，较 2005 年增长 98.05%。我国纺织工业发展得益于行业整体技术、装备水平的显著提高。行业中 1/3 左右重点企业的技术装备总体上达到了国际先进水平。“十一五”期间，国产纺织机械产品技术进步显著，市场份额由 61.72% 增长到 78.07%。以可使生产率提高数倍的电脑针织横机为例，国内“十五”末期开始研制，到 2010 年已达到年销售 10 万多台。国产纺织机械虽然有了较大进步，但在“十一五”期间，每年进口的纺织机械仍在 40 亿美元左右。国产纺织机械仍有较大的发展空间，尤其在数字化、自动化方面，与国际先进装备仍有较大差距，尚不能完全适应纺织工业的发展新趋势。大

量的纺织机械工作时存在着运动控制、轨迹控制的需要。充分利用数控技术提升纺织机械行业发展水平，是进一步提高纺织机械生产率和生产质量的有效途径。

2. 印刷和包装机械

印刷产业与国民经济、社会文化和人民生活都息息相关，已形成以书刊、报纸、包装印刷、商业印刷、广告印刷和印刷材料等为主要产品的工业体系。2009年我国印刷产业总产值5 746亿元。印刷和包装机械产业为印刷和包装产业提供技术和装备，是产业发展的基础和支撑。2010年，印刷和包装行业总产值突破12 000亿元，成为世界第三印刷和包装大国。

目前，我国低档印刷和包装设备已经能够自给自足，中档设备基本满足需求并有部分出口，而高档设备主要依赖进口。其主要表现在：速度、性能、稳定性、可靠性、自动化和信息化等方面与国外先进水平差距较大。印刷包装设备广泛存在高速点位控制、同步控制、数字伺服驱动、电子凸轮以及张力控制等数控技术需求。我国企业自主研发印刷包装机械数控系统的核心技术和部件，降低设备成本，提高印刷包装控制装置的可靠性，已经成为提高企业市场竞争力的当务之急。

3. 轻工机械

轻工行业一直是我国国民经济重要的支柱性产业之一。2010年，轻工行业规模以上企业工业总产值达到13.8万亿元。轻工机械产业是为我国轻工业发展提供技术装备的基础产业，所涉及的行业多、门类广、品种繁杂、专业性强。“十一五”以来，轻工装备制造业整体制造技术和产品技术水平与国际先进水平的差距逐渐缩小，国产装备基本上能满足国内生产的一般需求。

作为轻工机械的生产大国，由于缺乏专用的数控系统的开发和推广应用，国产轻工机械装备至今不能适应大型、专用、高速、高性能、多功能的发展趋势，满足不了高端产品的国内外市场需要。为保障我国轻工业全面、协调和可持续发展，提高企业国际竞争力，必须大力发展我国轻工机械装备制造业。轻工机械行业应大力开发、应用数控技术，提高产品质量、保证产品安全、提高生产率、实现节能减排，为我国轻工业生产提供支撑力量。

4. 建材机械

近年来，我国建材行业得到巨大发展。2010年，建材行业工业总产值超过1万亿元。建材机械为建材行业的整体发展提供了巨大支撑，特别是电子、计算机及数控技术的发展及其在墙材加工、玻璃加工、石材加工、钢筋加工等装备中的应用，给建材机械工业的发展带来了新的增长点。

但是，目前我国建材机械设备普遍存在自动化程度不高，生产效率低，高端装备主要依赖进口。对于建材机械生产企业来说，产品附加值低，产业集中度低，影响企业经济效益；对于建材机械使用企业来说，一方面进口装备价格昂贵导致生产成本高，另一方面国产设备难以满足需求，导致资源、能源消耗高，难以占领高端市场。同时，随着建材产品需求的个性化发展趋势明显，也使得多功能、高精度的柔性化加工设备成为必需。依靠数控技术，尽快提高国产建材装备的水平，有利于建材装备生产企业和使用企业的健康快速发展。

5. 塑料及其他行业机械

塑料机械是国际贸易的重要产品，年贸易值在 200 亿～ 300 亿美元之间。据海关统计，我国每年进口高端塑料机械 20 亿美元左右，占国内塑料机械产值的 50%，国内消费额的 30% 以上。锻压设备也是装备制造业的重要组成部分之一，在航空航天、汽车制造、交通运输、冶金化工等重要工业领域得到广泛应用。2010 年我国锻压设备产值达 403 亿元，共生产各类锻压设备 26 万台，年增长速度保持在 30% 以上。

从整体上看，目前我国生产的注塑机、锻压机、挤出机等机械装备主要还是中低端产品。随着技术的发展，这些机械装备已经从普通机型向大型、节能环保、全电式（伺服）、高速精密和专用方向发展。依托专门化的数控技术，重点发展大型、精密、复杂、具有高科技含量的专用化、系列化、复合化、智能化的中高档产品，是塑料及其他行业机械装备发展的必然趋势，具有巨大的市场需求和发展空间。

（二）存在的问题与不足

从“六五”计划开始，在国家持续六个五年计划支持下，我国数控装备制造和数控系统已形成较完备的产业体系和研发体系，中高档以下的数控装备及产品在国内市场比重不断提高，并具有一定规模出口，我国机械设备已取得巨大成就。但机械产品仍存在着附加值不高、竞争力不强等较严重的问题，高端机械产品仍大量依赖进口。总体而言，我国数控化机械设备的技术水平和应用能力还存在很大差距，一些亟待解决的主要问题依然突出，主要体现在：

1. 高档机械设备国产化率低，自主创新设计能力较差

虽然目前低档机械设备大部分可以满足国内市场，中档装备也能满足 50% 左右，但各行业高档、关键装备仍然以进口为主，国内机械设备行业处于“低端混战，高端失守”的状态。主要原因是机械设备的自主创新设计开发能力不足，

尤其缺乏针对数控化机械系统的产品结构设计、性能优化等创新设计方法、技术与支撑工具，数字化技术在装备中的应用与融合不够，不能提供满足国内制造业急需的高档装备。

2. 量大面广的专用机械设备数控化率低

一方面，国内相关行业制造企业重视自身产品的研发与销售，缺乏对装备中数控技术的系统认识，无法为各类机械设备的数控技术应用推广提供技术支撑；另一方面，我国数控技术研究机构和国产数控系统企业长期没有介入这些机械设备领域，也缺乏对这些机械设备工艺知识的了解和认识。因此导致我国相关行业的主流机械产品结构单一、功能简单、性能不高。

3. 国产数控系统的应用推广不够，市场占有率较低

目前，数控技术的研发和应用推广主要集中在数控机床行业，大大推动了我国数控机床行业的发展，国产数控系统在中低档数控机床的市场占有率达到 70% 以上。但是，除数控机床外，其他行业的机械产品缺乏数控化的高端技术和装备，缺乏针对特定工艺的高效率数控化产品，机械设备的数控化率不到 20%，而且大多数依赖国外数控系统。因此，迫切需要从国家层面组织国产数控系统企业和数控技术推广服务机构及时介入，提升我国机械设备的数控化水平，提高国产数控系统在机械设备的市场占有率，进一步促进我国机械设备的产业升级和数控系统产业的发展。

4. 数控技术标准体系及服务培训体系不够健全

目前，我国数控技术的研发机构、数控产品的生产企业与用户企业之间有待进一步加强技术合作与产业链整合。具有带动性和示范性的典型产品和行业缺乏基础工艺数据、技术标准以及信息交换平台；同时，针对不同行业机械设备所使用的数控系统和伺服驱动装置，缺乏相应的技术标准。此外，我国尚未形成较为完善的数控技术应用推广的技术服务与培训体系。

二、发展思路和原则

根据我国国民经济和社会发展“十二五”规划纲要中关于改造提升制造业、培育发展战略性新兴产业、加快发展服务业的战略部署，围绕国家“十二五”科学和技术发展规划重点任务，针对数控技术推广应用的自身特点，充分发挥各部门、各地方和主要行业协会的主动性、积极性，形成政、产、学、研、用各方协同推进的局面，以数控技术和产品的推广应用为牵引，提高机械设备行业企业的

自主创新能力，增加机械设备产品附加值，实现产品转型升级，大力促进我国机械工程领域的科技进步，提高市场竞争力。

“示范工程”实施的基本原则是：

需求牵引：始终以机械产品制造企业发展、机械产品制造业转型升级和地方支柱产业发展的需求作为出发点和落脚点；围绕企业业务过程，实现企业核心业务与数控技术的深度融合。

技术引领：充分利用数字控制技术、计算机技术、功率器件技术、电机技术、数字化设计技术等高新技术成果，发挥科技引领和支撑作用，提高机械设备企业自主创新能力和综合竞争力。

能力提升：把“提高企业效益、效率”作为数控机械产品创新的根本目标；结合重点行业和地方支柱产业的发展，做“深”、做“透”、做“精”。

全面带动：选择纺织机械、印刷和包装机械、轻工机械、建材机械、塑料及其他相关行业机械，在长江三角洲、珠江三角洲等制造业发达地区以及中西部工业重点地区、东北老工业基地等区域开展应用示范，研发一批重点数控产品、培育一批重点企业和形成一批重点产业集群，在产业升级影响大、关联度高、带动性强的一些行业关键数控装备上取得突破，推动数控技术在装备和产品创新中的应用，实现全面升级换代。

三、发展目标

总体目标：以数控技术和产品的应用推广为牵引，提高机械设备行业企业的自主创新能力，增加机械设备产品附加值，实现产品转型升级，大力促进我国机械工程领域的科技进步，提高市场竞争力。

具体目标：

1）研究开发一批具有自主知识产权的数控化机械设备的设计、工艺、控制技术和工具，研制一批行业关键数控装备和主导产品，显著增强数控技术对提升企业核心竞争力，加速制造业转型升级，促进高端制造业发展，提高对地方支柱与特色产业的支撑作用与服务能力。

2）在各相关行业的装备和产品创新中推广数控技术与产品的应用，实现产品升级换代；结合区域发展战略，在长江三角洲、珠江三角洲等制造业发达地区以及中西部工业重点地区、东北老工业基地各有侧重地开展“示范工程”，提高区域的机械产品自主创新能力和产品附加值。

3）完善数控技术和数控产品应用服务和培训体系，培育一批数字化机械设备及产品的设计应用人才，提升我国机械设备制造企业的创新能力和售后服务能力，实现数控技术和数控产品应用的规范化、标准化，提高机械设备行业的整体竞争力。

四、重点任务

“十二五”期间，“示范工程”实施的主要任务：一是突破机械设备数控化关键技术；二是选择重点行业全面推进应用示范；三是开展重点区域支柱性产业的应用示范；四是加强标准体系研究和关键技术标准研制；五是加强数控技术应用服务和培训体系建立。

（一）开展数控机械设备关键技术研究

针对不同行业、不同区域数控机械设备在创新设计、数字控制、个性化工艺等方面的需求，以突破技术瓶颈、掌握关键技术、建设共性技术平台为目标，提高我国机械设备自主创新能力和数控化技术水平。

1. 典型数控机械设备的创新设计技术及工具

以主机、数控装置、驱动装置、伺服电机等在内的数控化机械装备为对象，研究多学科统一建模及功能样机技术，加强机械设备实验数据的获取，开发符合真实情况的数控机械建模仿真与功能样机平台；开展数控机械设备的创新设计、可靠性设计和制造技术研究，建立新产品开发公共平台，实现数控机械产品结构与性能优化。

2. 数控机械设备工艺技术与软件的研发及其应用

针对典型机械设备，研究典型工艺的数控化实现技术，研究开发典型工艺过程中的产品（工件）数据预处理、轨迹规划、运动控制、参数优化、逻辑控制、过程监测等技术与软件工具。针对特殊机械设备，开发产品（工件）数据预处理、轨迹规划、运动控制、参数优化、逻辑控制、过程监测等技术与数控系统的集成技术与软件功能模块，为数控技术在各种个性化机械设备中的创新应用与推广提供基础。

3. 机械设备专用数控系统与伺服驱动装置的研发及其应用示范

研究典型数控机械设备控制系统的关键技术，开发数控机械设备的专用数控系统与伺服驱动装置及其接口技术，形成适应不同机械设备行业需求的高、中、低档数控系统和伺服驱动装置体系结构和产品，为国产数控系统针对行业的推广

普及提供工具和手段。

（二）开展数控技术在重点行业的应用示范

1. 数控纺织机械设备研究开发及应用示范

针对几类典型纺织机械，应用数控技术创新设计出新型的数控纺织机械，提升设备技术水平、生产效率和生产质量；研发具有自主知识产权的纺织机械系列数控系统、伺服驱动装置和设计软件；建立几种典型数控纺织机械设备的技术标准；建立数控纺织机械应用示范区，培养国内数控纺织机械研发和应用推广人才。

2. 数控印刷和包装机械设备研究开发及应用示范

研究印刷和包装机械设备中的同步控制、点位控制、轨迹控制等关键技术；研究开发几类典型数控印刷和包装机械，提升设备技术水平、生产效率和生产质量；研发具有自主知识产权的印刷和包装机械数控系统和伺服驱动装置；建立几种典型数控印刷和包装机械的技术标准；建立数控印刷和包装机械应用示范区，培养国内数控印刷和包装机械研发和应用推广人才。

3. 数控轻工机械设备研究开发及应用示范

针对轻工机械所涉及的行业多、门类广、品种繁杂的行业特点，首先在木工、造纸、食品包装、缝制机械、砂光抛光设备，应用数控技术创新设计数控轻工机械，提升设备技术水平、生产效率和生产质量；研发具有自主知识产权的轻工机械数控系统、伺服驱动装置和加工编程软件；建立几种典型数控轻工机械设备的技术标准；建立数控轻工机械应用示范区，培养国内数控轻工机械研发和推广人才。

4. 数控建材机械设备研究开发及应用示范

研究开发几类针对墙材、玻璃、石材、钢筋等典型建材的数控建材机械，提升设备技术水平、生产效率和生产质量；研发具有自主知识产权的建材机械数控系统、伺服驱动装置和加工编程软件；建立建材机械数控技术应用示范区，培养国内数控建材机械设备研发和应用推广人才。

5. 塑料及其他行业数控机械设备研究开发及应用示范

研究开发节能型注塑机、全电动注塑机、微注塑成型设备、微挤出成型设备、塑料加工生产线辅助设备、锻压设备、齿轮加工设备、轴承产业配套零部件专用加工设备、液压产业配套零部件专用加工设备、汽车配套零部件专用数控加工机床等；研发具有自主知识产权的专用数控系统、伺服驱动装置和加工编程软件；建立塑料及其他行业机械数控技术应用示范区，培养国内相关数控机械设备

研发和应用推广人才。

（三）开展数控技术在重点区域的应用示范

结合区域发展战略，选择在长江三角洲、珠江三角洲等制造业发达地区以及中西部工业重点地区、东北老工业基地等，以专业镇、示范省市等不同组合方式，适应区域“转方式、调结构”的战略需求，充分依靠地方政府和科技主管部门组织实施，加速培育和完善区域内相关数控产品产业链，以数控技术在整个支柱产业链中的推广应用为目标，进行数控机械设备在重点区域的应用示范，促进传统机械产品产业链向高端延伸，提高区域的机械产品自主创新能力和产品附加值。

（四）完善应用服务体系和人才培训体系

将产品服务技术融入到重点行业、重点区域的数控机械设备生命周期中，建立数控机械设备应用服务平台，建立数控技术和数控产品技术研发、技术咨询、技术服务和人才培训机构，全面提升我国数控企业、数控机械设备企业的应用服务和人才培训能力。

（五）加强标准体系研究和关键技术标准研制

为实现数控技术与机械设备的完美结合，提高数控机械设备的产品质量和生产效率，大力支持数控机械设备生产企业、数控技术研发机构与用户企业加强合作，围绕具有带动性和示范性的典型产品和行业，开展标准体系研究和关键技术标准研制。

五、组织管理

（一）组织层次

1）与国务院有关部门的工作相协调，建立科技政策与经济、产业、人才、标准等政策的部际协调机制，强化科技进步与经济发展的相互促进，充分实现创新资源的优化配置与创新应用示范的相互促进。

2）加强顶层设计和宏观管理。科技部作为组长单位，工业和信息化部、中国工程院作为副组长单位，联合国务院相关部门、部分地方科技厅和相关行业协会组成“示范工程”领导小组，负责审批总体规划及协调指导工作；领导小组下设办公室，负责组织实施等具体管理工作；成立专家组，负责发展战略研究并提供技术指导等工作；成立专家咨询组，负责对“示范工程”总体方向提供咨询。

3）在本规划的指导下，各地方和相关行业协会将加强组织实施管理，做好本地区、本行业相关规划和实施方案的编制工作，成立相应的领导小组与专家

组，落实体制、机制、人才、资金、组织、管理等方面的保障措施。

4）参与“示范工程”的各个单位（包括企业、高校、科研院所、行业协会等）具体落实执行工作，鼓励政产学研用相结合。

（二）组织形式

对试点省份、试点区域、示范市、试点产业链、专业示范镇、各类平台给予资金资助并择优授牌，对属地内的单位或者承担单位在项目申报上予以优先支持。

1）试点省份与区域：产业特征明显并具有相关优势的省份和区域。

2）示范市：产业需求迫切、相关优势明显、配套资金落实、政策导向作用显著的市、区。

3）试点产业链：对数控机械需求迫切、产业带动性大及上下游关系密切的产业链。

4）专业示范镇：产业集群度高、数控机械需求量大的专业镇。

5）各类平台：包括数控机械创新设计平台、数控装备应用推广中心、数控人才培训中心等。

6）产学研用联盟：将全国具有数控技术优势的研究机构、高校、生产企业、用户企业形成机械产品数控化技术应用产业技术创新联盟。

应重视相关行业典型高端数控机械产品的开发以及量大面广技术与产品的推广应用，形成高端产品突破和应用示范的显著成效。

（三）管理机制

1）充分发挥行业协会、联盟、平台等机构在指南建议、组织申报、项目实施管理等方面的作用；部分关联关系密切、需要整体考核的项目可以委托行业协会、联盟、平台进行项目设置和组织管理。

2）按照“下游考核上游、整机考核部件、应用考核技术、市场考核产品”的模式，推行项目成果用户考核机制。

附录 F “十二五”制造业信息化科技工程规划

国科发高［2012］312 号

中华人民共和国科学技术部

二〇一二年四月二十八日

前言

制造业信息化科技工程是应用信息技术、先进制造技术、现代管理技术和自动化技术等高新技术，改造提升制造业的全局性、服务性、基础性和持续性的系统工程。推进制造业信息化是《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》和《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》的重要内容，是落实党的十七届五中全会“推动信息化和工业化深度融合”战略部署的重大举措，是依靠科技进步和创新加快转变经济发展方式的具体实践，也是“十二五”我国改造提升制造业、培育发展高端装备制造产业等战略性新兴产业、加快发展现代服务业的重要任务。我国制造业信息化二十多年来的发展历程表明，推进制造业信息化是科技支撑经济发展、技术引领产业进步、高技术集成创新的重大实践，已成为科技服务制造业和支撑国民经济发展的一面旗帜，对促进我国制造业转型升级、打造制造强国具有重大意义。

一、形势与需求

（一）世界制造业发展趋势与我国制造业面临的挑战

1. 世界制造业发展趋势

在科技创新孕育新突破、经济全球化深入发展和信息化不断融入经济社会各领域的背景下，制造业正在向全球化、精益化、协同化、服务化、绿色化和智能化方向发展。

（1）全球化：全球经济一体化及信息网络化推动了制造业全球产业链的形成和发展。制造企业突破传统的“企业—社会—国家”界限，在全球范围内优化配置资源，实现产品研发、生产制造、采购和销售服务的全球大协作，提升国际

竞争力。

（2）精益化：在日趋激烈的市场竞争环境中，制造企业通过优化业务流程和强化管理手段，实现企业内部的精细化管控和产业链上下游的紧密协作，从而推动企业不断适应内外环境的变化，降低企业成本。

（3）协同化：制造企业正从“各自为政”向“专业协同”发展，通过专业化分工和社会化协作，实现产业价值链的优化和重组，从而提升产业整体竞争能力。

（4）服务化：在同质化竞争和供大于求的全球市场环境下，产品加工制造的附加值越来越低，制造业产业价值链的高端向产品研发设计和运营维护等服务生命周期转移。推进制造业服务化，发展服务型制造已成为世界制造业的重大趋势。

（5）绿色化：面对经济社会可持续发展提出的节能降耗、低碳环保和循环利用要求，制造企业通过绿色设计与制造，不断降低企业产品生产制造及使用过程的资源消耗和环境影响，实现企业经济效益和社会效益的协调优化。

（6）智能化：随着泛在网络、信息技术和智能技术的发展，越来越多的制造企业将嵌入式系统、RFID 和传感网络等应用于产品及生产制造过程，提升产品智能化程度以及产品研发设计、生产制造和经营管理的智能化水平。

2. 我国制造业发展面临的挑战

改革开放三十年来，我国制造业已得到长足发展，规模上已成为全球第二制造大国，许多制造产品的产量位居世界第一，一批优秀的大型制造企业已走出国门，“中国制造”享誉全球。但是，面对产业结构调整和分工趋势越来越明显，全球化、精益化、协同化、服务化、绿色化和智能化发展趋势越来越强的世界制造业发展格局，我国制造业发展呈现出明显的不足，一是自主创新能力弱、产品附加值低，产业结构不合理、结构性失衡严重，转型升级任务艰巨；二是制造业大而不强，全球资源配置能力弱，没有形成大中小型企业协同发展的生态化产业链条；三是制造业能源消耗大、利用率低，绿色低碳发展压力大。我国制造业正面临着全球竞争、绿色低碳、转型升级的巨大挑战，急需转型升级，提高产业的整体竞争能力。

（二）制造业信息化技术发展趋势与我国制造业信息化现状

1. 制造业信息化技术发展趋势

互联网、云计算、物联网等新一代信息技术的迅猛发展，与制造技术相融

合，形成了制造业信息化新的核心使能技术，不断推动着制造业的进步和发展，也为我国制造业的跨越式发展提供了难得的历史机遇。

（1）新一代集成协同技术

新一代集成协同技术以广域网和泛在网为基础，以面向服务的架构（SOA）、企业集成总线（ESB）等技术为核心，形成了新的集成标准和集成架构，对相对独立的资源系统中的数据对象、功能业务进行融合、聚类、重组和优化，提升了信息系统集成运行的广度和深度，推进了信息化和工业化的深度融合。

（2）制造服务技术

制造服务技术以云计算、制造系统集成、服务生命周期管理、大修维修（MRO）、远程诊断与服务等关键技术为支撑，推动了云制造、系统成套与工程总包、面产品全生命周期的制造服务等服务型制造模式的发展，推进了制造业的服务化，加快了专业化制造服务与公共资源服务的发展，促进了产业结构的优化升级。

（3）制造物联技术

制造物联技术基于互联网以及嵌入式系统技术、射频识别（RFID）技术和传感网等，构建现代制造物联网络；以中间件、海量信息融合处理和系统集成技术等为基础，基于物联网络开发服务平台与应用系统，解决产品设计、制造与服务过程中的信息综合感知、可靠传输和智能处理问题，提高产品技术附加值，增强制造与服务过程的管控能力，催生新的现代制造模式。

2. 我国制造业信息化成绩与存在问题

2.1 制造业信息化对制造业发展起到重要作用

通过“十一五”制造业信息化工程的实施，我国制造业信息化迈上了新台阶。具体表现在以下几个方面：

（1）制造业信息化发展再加速，应用水平大幅提高，效益显著提升

2009 年，我国制造业信息化指数达 159.77，较 2006 年增长 13%。这表明我国长期实施制造业信息化工程已取得显著成效，企业已将信息化作为研发设计、生产制造和经营管理的重要内容，信息化在业务流程的融合已达到一定深度。

（2）综合集成示范，引领集成化发展，集成效益凸现

“十一五”期间，制造业信息化工程组织实施的 10 个面向重点行业 / 产品的数字化综合集成应用示范工程取得显著成效。评测数据表明，综合集成示范企业的 9 项典型软件应用率和功能应用深度，明显高于一般企业，劳动生产率、产品

合格率和利润率均远高于制造企业平均值，带动了省市 110 家企业的信息化集成应用的发展。

（3）以数字化设计制造一体化为标志的“甩图纸”和以经营管理信息化为标志的“甩账表”应用示范工程助推制造业企业信息化进入集成应用阶段

“甩图纸、甩账表”示范使信息技术应用涵盖了整个产品生命周期，优化了企业业务流程，带动了业务模式创新。通过对各省市 1 000 多家“两甩”示范企业的调查，信息技术对这些企业研发、制造管理、运营的变革创新程度及带来的经济效益和管理效益明显高于参加调查企业的平均值。企业信息化已经开始迈入由内部集成向外部集成发展的阶段。

（4）创新了公共服务平台的发展模式，建成一批中小企业信息化服务平台

针对制造业产业链和企业集群发展的需求，建设了一批支撑制造业产业链协作的公共服务平台和面向产业集聚区域的制造业信息化 ASP 平台，覆盖汽车、摩托车、模具、机床、注塑机、工控、仪器仪表、纺织、服装、五金、灯具等行业门类，提升了中小企业信息化水平，在平台运营模式、服务方式等方面进行了有益的探索和尝试。

（5）覆盖设计—制造—管理的信息化技术平台，成为制造业快速发展的重要支撑

与“十五”相比，信息化应用覆盖了设计、制造、管理、营销等全业务流程，成为企业快速发展的重要支撑。信息化已扩展到生产过程物流、质量等实时动态执行控制，SCM 和 CRM 为代表的企业间协作软件应用比例迅速扩大，超过 50%，与 2006 年相比，增幅超过 100%，企业间供应协作已成为发展重点。

2.2　制造业信息化工作有待进一步完善的内容

通过四个五年计划的支持，我国制造业信息化不断迈上新台阶，推动着制造业的持续发展。今天，我国制造业发展面临着“全球竞争、绿色低碳、转型升级”的严峻挑战，制造业信息化的总体水平与现实需求之间依然存在很大差距。具体表现在：

（1）重技术，轻标准，信息化与工业化深度融合不足

制造企业过多关注技术和软件功能的先进性，信息技术工具化表现突出。不注重挖掘软件应用对企业业务流程优化、业务模式创新变革的作用。缺乏在软件技术基础之上，对标准规范、业务流程、管理模式、知识经验等数字化能力要素进行全面集成和充分融合。支持企业业务和提升企业能力的软装备水平有待进一

步提高，存在企业业务流程和信息系统两张皮现象。

（2）重产品，轻服务，缺乏对产业价值链高端的支撑

制造业信息化系统多分布在设计制造和管理的环节上，而对产业价值链高端的服务环节支撑明显不足。IT 厂商重视信息化产品研发与销售，但多数厂商缺乏细分行业的信息化整体解决方案，不重视为制造企业提供信息化工程的总体设计、客户化开发、软件系统配置和运行维护管理等整体服务。公共服务平台尚未形成规模，服务能力弱，可持续发展能力不足。对企业转型升级发展的整体性支撑不足，信息化综合效能未得到充分发挥。

（3）重跟踪，轻创新，自主产品对产业支撑能力薄弱

制造业信息化技术产品无法摆脱模仿跟踪的局面，自主创新能力薄弱，跨越发展意识匮乏，尚无法满足制造企业多层次和多类型的需求。缺乏自主知识产权的高端核心技术，源于制造企业的自主产品开发尚未形成规模。对云制造、制造物联等前沿信息化技术研发投入不足。

（三）我国制造业信息化发展需求

在制造业发展的大趋势下，我国制造业要应对全球竞争、转型升级、绿色低碳的巨大挑战，必须加快经济发展方式转变、促进制造业转型升级。迫切需要加快发展高端制造，占据产业制高点；实现从“生产型制造”向“服务型制造”转变，占据产业价值链的高端；打造集团企业全球协作、精细管控和绿色低碳制造模式，推动中小企业集群发展和融入产业链，引领信息化与工业化的深度融合。

1. 提升制造企业核心竞争力的需求

大型集团企业是我国制造业的支柱，是带动产业链和区域经济发展的龙头和核心。与国际先进制造企业相比，我国大型集团制造企业在全球化资源配置和产业链协同能力、集团管控能力、节能降耗能力等方面还存在相当大的差距。大型集团企业迫切需要通过全面深入应用信息技术，不断提升企业精细管控能力、产业链的整体带动能力和全球范围内的资源优化配置能力，促进企业不断做大做强。

中小企业在确保国民经济增长、缓解就业压力等方面发挥着越来越重要的作用。但我国中小企业产品研发和经营管理水平低、产业链融入困难、社会资源利用水平不高，严重制约着广大中小企业的生存和发展。需要建设面向产业链和企业集群协作的公共服务平台，增强中小企业融入产业链的能力；需要大力加强公

共资源服务平台建设，提升制造资源的集聚程度，促进中小企业社会资源的优化利用；需要进一步加强设计制造和经营管理信息化的推广应用，促进企业产品研发能力和经营管理水平的提升。

2. 从“生产型”制造向“服务型”制造转变的需求

当前，我国大量制造企业以加工和组装为主，在研发设计、产品服务等价值链高端环节的发展严重滞后，总体上处于价值链的中低端，属于典型的“生产型”制造，迫切需要通过发展“服务型”制造来促进制造业转型升级、增加产品附加值。我国制造业需要利用信息技术开展工程成套、MRO 等高附加值制造服务，需要建立产品设计研发和制造物流等第三方专业化制造服务平台，促进制造与服务的融合，占据全球产业价值链的高端。

3. 发展高端装备制造业的需求

我国装备制造业创新能力不强、产品技术含量较低、生产效率低、产品质量和产品交货期不能保障等现状，与高端装备制造业的高效率、高精度的装备产品以及智能化的生产过程的要求相比，还有非常大的差距。因此，需要大力推进嵌入式等信息技术与高端装备的深度融合，提高产品的智能化程度和产品附加值；需要大力推进制造物联技术与生产过程的融合，促进制造过程的智能化提升和改造，催生高端制造先进的生产模式。

二、总体思路、基本原则及发展目标

（一）总体思路

围绕我国国民经济和社会发展“十二五”规划纲要提出的“改造提升制造业，培育发展战略性新兴产业，加快发展服务业，全面提高信息化水平”战略任务，继承和发展制造业信息化科技工程取得的成果，为制造业结构调整和转型升级、培育高端制造业等战略性新兴产业提供技术支撑。加强技术、标准与应用示范的协同发展，以提高自主创新能力为核心，坚持“抓应用、促发展、见效益、创环境”方针，以“服务”为宗旨、“增效”为出发点和落脚点，创新体制机制，大力协同，推进信息化与工业化的深度融合。

（二）基本原则

需求牵引、深度融合：立足制造业转型升级和促进制造业发展的需求；坚持信息化与制造业务过程的全面深度融合，建立新型制造业务模式。

增效为本、能力提升：将“提高制造企业效益和制造业整体效率”作为制

造业信息化的根本目标；切实加强我国制造业的研发创新、智能制造和精益管理能力的提升。

服务创新、转型升级：以发展服务业的市场化方式，推进制造业与服务业的融合，推进“生产型”制造向“服务型”制造发展，加强信息化服务的转型，促进制造业转型。

技术引领、跨越发展：充分利用以新兴信息技术为代表的高新技术成果，发挥科技引领和支撑作用，提高企业自主创新能力和综合竞争力，促进制造业跨越式发展。

（三）发展目标

“十二五”制造业信息化科技工程的总体目标是：着力突破一批具有引领性、创新性的制造业信息化关键技术；着力打造一批数字企业、服务型制造企业和产业服务平台；着力培育发展生产型服务业和制造业信息化软件产业及相关服务业，促进制造业核心竞争力显著提升，支持地方支柱与特色产业快速发展，加速我国从制造大国向制造强国转变。

具体目标是：

1. 支持制造业发展的信息化基础核心技术取得突破

攻克制造知识融合、产品创新开发、全生命周期管理与服务等一批关键技术，达到国际先进水平，形成自主知识产权的技术成果与软件产品。

2. 支持我国制造业转型升级和做强做大的信息化关键技术取得重大进展

支持以服务型制造、制造物联、新一代集成协同等为代表的行业性、集成性技术与产品取得重大应用突破，相关国产软件产品与系统的应用率提高 10%。

3. 促进我国制造业核心竞争力和整体效能不断增强

应用制造服务技术与系统，提高企业制造服务收入 5 个百分点以上；应用制造物联技术与系统于生产制造过程、产品物联和物流中，增加装备附加值 3%；打造 5 个全球协作、5 个集团管控和 5 个节能减排的大型数字化企业；支持 5 ～ 10 家制造业信息化创新服务平台建设，服务 5 万家中小企业，提高产业集群协作能力和中小企业市场竞争力；支持地方支柱与特色产业发展壮大。

4. 制造业信息化服务支持与保障环境持续完善

加速推进国产软件提供商向系统集成商、信息服务商转变，行业性专业构件、解决方案提供和信息服务等业务收入比重提高 12%；进一步完善制造业信息化技术培训体系、咨询服务体系和标准体系，建立形成制造业信息化发展的

长效机制。

三、重点任务

（一）制造业信息化关键技术攻关

为了更有效地推进制造业信息化科技工程，并通过制造业信息化技术的应用引领和促进我国制造业的可持续发展，设置制造业信息化关键技术攻关这一重点任务。

1. 制造业信息化引领技术

（1）云制造技术；

（2）制造服务生命周期管理技术；

（3）制造物联关键支撑技术。

2. 制造业信息化关键共性技术与系统

（1）云制造关键技术与服务平台；

（2）制造物流关键技术与服务平台；

（3）面向全生命周期的复杂装备健康监测与服务支持系统。

3. 制造业核心软件技术与系统

（1）产品设计平台技术与系统（CAD/CAE/SIM 等）；

（2）制造过程平台技术与系统（CAPP/MES/PDM/CAM/MPM 等）；

（3）经营管理平台技术与系统（ERP/BI/DW 等）；

（4）服务保障平台技术与系统（MRO/CALS 等）；

（5）产业链协同平台技术与系统（SCM/CRM/ASP/SaaS 等）；

（6）现代制造集成技术与平台（PLM/ 云制造 / 制造物联等）。

（二）集团企业集成与协同技术开发与应用

围绕航空、航天、船舶、轨道交通、汽车、装备制造、纺织、电子信息、钢铁、石化等行业的大型制造企业集团，通过新一代集成协同技术的应用，推进大型制造企业两化深度融合，提高企业精细化管控能力与全球化协作能力。

1. 集团企业信息化管控技术开发与应用

面向大型制造集团企业，研究基于数据中心的集团研发、生产、物资、经营、服务集中管控和科学决策整体的解决方案，建立以数据中心为核心的决策支持—研发设计—生产制造—经营管理—制造服务等核心业务信息化平台，高效整合集团企业内部与外部的各种业务、管理和市场信息，支持集团企业的企业运

营、兼并重组等战略。

2. 集团企业全球协作信息化集成技术开发与应用

面向全球化业务分工与协作需求，以企业数字化平台为基础，研究支持核心业务全球化协作的信息化整体解决方案，建立面向产业链协作的业务协同与资源配置集成服务平台，支持大型制造企业协同研制、协同制造、协同供应、协同服务，支持集团企业走出去参与全球竞争战略。

（三）中小企业服务平台开发与应用

围绕中小企业、产业链和企业集群，通过设计制造数字化和经营管理信息化深化应用、面向中小企业的产业链协同服务平台和面向中小企业的制造资源云服务平台开发和应用示范，促进中小企业实现管理增效、产品创新增效、产业链和集群协作增效。

1. 设计制造数字化和经营管理信息化深化应用

针对制造企业中多种生产模式、不同制造资源以及异构信息系统并存的现状，面向产品全生命周期和经营管理全过程，开展以三维产品数字化建模为核心的产品研发设计数字化技术研究和系统深化应用、以 ERP 为核心的集成化经营管理信息化技术研究和系统深化应用、以 MES 为核心的生产制造过程信息化技术研究和系统深化应用，并开展企业产品研发、经营管理和生产制造等环节信息化系统的集成技术研究和应用，促进信息技术与企业设计、制造和管理等核心业务的深度融合，提升制造企业的新产品研发能力、经营管理水平、生产制造能力和市场综合竞争能力。

2. 面向中小企业的产业链协同服务平台开发与应用

围绕汽车、摩托车、家电等产业链协作特征明显的重点集群式产业链，以支撑集群式产业链业务协同体系的形成为目标，研究中小企业群协同服务平台的发展模式、方法和技术，研发支持供应链、营销链、服务链和物流链等产业价值链业务协同与优化的服务平台，并开展平台的应用示范，探索以产业链集群带动中小企业信息化、以第三方服务支撑中小企业信息化的发展道路。

3. 面向中小企业的制造资源云服务平台开发与应用

面向服装、装备、模具、电子等企业区域聚集或制造资源共性特征明显的产业（区域），研究为制造企业提供公共资源服务的模式、方法和技术，开展面向中小企业的制造业共性业务资源云服务平台的开发和应用示范，实现中小企业进销存管理、CRM、财务管理等软件资源服务，以及产品、设计、工艺、制造、

检测、标准、知识等共性业务资源服务，探索以制造资源云服务支撑中小企业产品研发、技术创新和管理创新的发展道路。

（四）制造服务关键技术开发与应用

针对制造企业从产业价值链中低端走向高端的需求，以及制造业对第三方专业化制造服务的需求，开展面向成套装备制造企业的工程成套服务平台、面向大型装备制造企业的维修大修服务平台和第三方专业化制造服务平台的开发与应用，推动制造企业从生产型制造向服务型制造转型，促进制造业与服务业的融合，推动制造产业结构优化调整。

1. 装备制造企业工程成套服务平台开发与应用

结合电气、船舶等装备制造企业从单一产品提供商向整体方案解决商和系统集成商转变的需求，分析装备制造企业开展工程总承包特点，研究工程总承包商围绕工程总体目标与分包商、配套商开展协同服务的服务模式，攻克工程总包中的协同管理、技术风险管理、分布式进度协同管理、数据资源共享等关键技术，研发工程整体方案快速设计、快速报价、分包商协同等服务业务支持平台，开展示范应用。

2. 装备制造业维修大修（MRO）服务平台开发与应用

针对发电设备、石化装备、采矿装备等装备制造企业，基于 MRO 业务理念，研究以 BOM 为核心的装备维修信息组织与管理技术，基于 RFID 的装备定位和状态跟踪技术，复杂装备现场装配调优及质量监测技术，面向多种维修模式的维修决策支持技术，支持仓储、调拨和运输等一体化的物料管理技术，结合物联网技术的工业数据采集与监视控制（SCADA）等技术以及面向装备全生命周期维护全过程的维修历史数据分析抽取与检索技术；开发具有可定制性、可扩展性和稳定的装备维修维护管理平台；开发模型定制工具及构件辅助开发工具，提供数据模型、组织模型、过程模型，维修资源、规则引擎和访问控制等定制服务，并在平台基础上结合关键技术开发相关的 MRO 核心构件；基于装备 MRO 核心构件支持平台，根据行业特征研究进行行业构件开发，开展应用示范。

3. 第三方专业化制造服务平台开发与应用

针对汽车、摩托车、模具等行业的需求，研究支持第三方专业化制造服务的信息化解决方案，开展面向物流拉动的现代制造服务、新产品及复杂零部件设计制造集成服务等第三方专业化制造服务平台的开发与应用示范。

（五）制造物联关键技术开发与应用

1. 高端装备嵌入式系统技术开发及应用

结合高端装备的网络化、智能化、数字化发展趋势，开展面向产品创新的嵌入式技术集成应用，研发基于底层嵌入式架构的高可靠实时控制、远程监测、智能诊断技术和系统，以及支持网络化服务的智能化产品，研究制定标准，提升产品核心技术水平和附加值。

2. 制造业 RFID 系统集成技术开发与应用

针对制造业供应链物流、生产制造和售后服务过程可视化、智能化和精益化以及产品质量安全监管、产品全生命周期的需求，开展面向产品制造和服务的 RFID 特种标签、智能读写终端设备、嵌入式网络化 RFID 实时中间件及其控制器、RFID 智能信息融合与系统集成技术等 RFID 技术的攻关，形成一批有自主知识产权的软硬件产品、集成平台；开发和建立面向多个制造业环节、行业和区域的 RFID 集成应用与追溯平台，形成 RFID 技术典型行业应用解决方案，开展应用示范，促进相关标准研究制定及应用，为制造物联提供支撑环境。

3. 制造物联集成技术开发与应用

以制造智能化为目标，将 RFID 等自动识别技术、定位技术、传感器技术、自动化技术以及嵌入式系统等应用到全数字化设计、企业原材料供货、生产计划管理、生产过程控制、智能测控、物流配送等过程，支撑发展柔性制造、敏捷制造、个性化定制等生产模式，实现对制造过程的实时跟踪、精准管理、智能控制，提高生产效率、降低物流成本，促进相关标准的研究制定与应用。

（六）制造业信息化服务支撑体系与环境建设

紧密结合制造业信息化关键技术攻关及应用示范，通过政府引导与市场机制结合，推动制造业信息化产业技术创新联盟建设；建立并完善制造业信息化标准体系、指数统计分析体系、人才培训体系、技术咨询体系，形成持续推进制造业信息化的长效机制。

1. 发展制造业信息化支撑服务产业联盟

支持软件开发商、系统集成商、信息化服务商围绕制造企业的需求，构建涵盖“软件产品—系统集成—信息化服务”的制造业信息化产业技术创新联盟；支持软件开发商，围绕细分行业或企业个性化需求，开发行业性、专业化的软构件和产品；支持系统集成商按照企业业务流程开展系统集成，打造一体化业务支撑平台；支持信息化服务商为制造企业提供业务咨询、解决方案、系统集成、运行

维护等服务。

2. 制造业信息化基础支撑环境建设

开展制造业信息化战略研究、行业应用发展模式研究；研究制定相关标准、规范，形成制造业信息化标准体系；完善制造业信息化培训体系，开展制造业信息化人才培训工作；完善制造业信息化咨询服务体系，开展制造业信息化指数调查统计与分析、第三方监理服务、绩效评价、技术咨询等服务工作；进一步加强制造业信息化组织工作体系建设。

四、保障措施

（一）组织保障

1. 组织方式

采取“统筹规划、分类组织、共同推进”的思路，通过国家 863、科技支撑等科技计划，分制造业信息化关键技术攻关和制造业信息化集成技术研究及应用示范两个层面的任务进行组织管理。

采取“以点带面、示范推广、支撑发展”的思路，将集成技术研究及应用示范层面项目任务分行业应用示范、区域应用示范两大类项目组织实施。行业应用示范重点围绕战略性新兴产业培育发展、十大产业振兴、国家重大工程建设及重大装备 / 产品研制、产品质量安全保障等展开，区域应用示范重点围绕各地方支柱 / 特色 / 优势产业发展，组织实施以中小企业信息化深化应用、数字企业、制造服务、制造物联为内容的制造业信息化集成技术研究及示范。

2. 管理模式

通过国家 863、支撑两大科技计划的有效结合，并与部门、行业和地方科技计划的对接，形成制造业信息化科技工程工作整体推进体系。

通过设立制造业信息化科技工程协调领导小组及办公室、总体专家组，地方制造业信息化科技工程协调领导小组及办公室、专家组，形成“十二五”制造业信息化科技工程组织管理体系。

（二）政策措施

做好制造业信息化科技工程的顶层设计，构建全国范围内的制造业信息化科技工程实施框架，引导地方科技部门组织实施地方制造业信息化科技工程工作。

在本规划指导下，各省、市、区科技主管部门要做好本地区的制造业信息化科技工程规划、实施方案，保障本地区制造业信息化科技工程的实施。

（三）人才队伍建设

联合地方政府、行业部门，完善各级技术培训机构，完善业已建立的制造业信息化培训网络体系，为培训人才提供支撑。多渠道、多方式大力培养、培训信息化研发应用复合型人才，包括引进海外人才，形成一支专业化实施队伍，满足应用需求。建立专家资源库，充分调动各类专家资源、中介机构资源、IT 企业力量，为企业提供服务。

（四）经费保障

建立完善以企业自有资金投入为主体、国家专项经费引导、地方财政资金配套的工程资金投入机制。其中，关键技术攻关层面经费以国家专项经费引导、地方及企事业单位资金配套方式落实；集成技术研究及应用示范层面经费以企业自筹为主，国家专项经费引导、地方财政资金配套方式落实。

（五）实施机制

1. 建立多方协同，共同推进机制

加强与发改委、工信部、科工局、商务部和教育部，国家标准化委员会及行业协会的合作，协同推进；传承制造业信息化的传统，加强与地方协同、部省联动，与地方相关科技计划紧密衔接，将省市科技部门作为推进制造业信息化的主要力量；加强集成服务商、软件开发商、运营服务商、技术服务机构等多方协同，共同推进。

2. 建设可持续发展的长效机制

政府引导与市场机制相结合，进一步建立、完善制造业信息化的技术研发体系、标准体系、技术培训体系、咨询服务体系、绩效评价体系、组织工作体系等，建设形成制造业信息化发展环境和长效机制，保障制造业信息化可持续发展。

3. 实行产学研联合机制

以企业为主体，产学研合作组织实施制造业信息化科技工程。其中，关键技术攻关层面由科研院所、高等院校、软件企业牵头，联合制造企业、集成服务商、技术服务中介机构等组织实施；集成技术研究及应用示范层面由大型制造集团企业、地方支柱产业 / 特色产业骨干企业牵头，联合软件企业、集成服务商、技术服务机构、科研院所、高等院校等组织实施。

4. 强化项目管理机制

建立项目管理制度，严格按照国家相关科技计划管理办法进行项目管理；建立科学、公正的立项机制，通过公开招标、定向邀标、专家评审、综合评议等

方式，择优选择项目课题承担单位；逐步建立项目质量保证体系，规范计划、决策、实施、管理、评估、监理等项目过程管理。

5. 加强国际合作与交流

通过“走出去，请进来”，大力开展国际合作与交流，充分利用国际科技资源，更好地实施本专项；实行自主创新与开放合作相结合，实现开放式创新，加强知识产权保护，促进制造业信息化创新活动与国际接轨；积极跟踪、参与国际相关标准研究制订工作，推动制造业信息化标准化工作与国际接轨；鼓励、支持参与项目的企事业单位引进海外高层次创新人才，更好地开展研究、应用示范工作。

6. 加强宣传交流

通过定期召开“工作例会”、编辑出版《制造业信息化工程简报》等方式，加强沟通交流；建设、完善“制造业信息化工程网站”，组织举办制造业信息化技术、应用交流会、研讨会，构建立体宣传、交流平台，加强宣传引导、信息交流，营造制造业信息化良好的舆论氛围和发展环境。

附录 G　机床工具行业“十二五”期间工作要点（试行）

中国机床工具工业协会

二〇一一年十月二十七日

为落实《机床工具行业“十二五”发展规划》，结合《高档数控机床与基础制造装备科技重大专项“十二五”实施计划》，在行业和用户调研的基础上，制定本工作要点。

一、行业发展现状

进入新世纪以来，我国机床工具行业经历了近十年的连续高速发展，取得了令世人瞩目的巨大成就。2009 年行业经济规模跃居世界第一位，2010 年全行业完成工业产值近 5 500 亿元，其中金属加工机床产值 209 亿美元，约占全世界的三分之一。与经济规模迅猛增长的同时，机床工具行业的产品结构水平持续提升，技术创新能力显著增强，行业企业的综合素质和市场竞争能力不断提高。2010 年全行业完成数控机床产量超过 22 万台，数控机床的国内市场占有率达到 57%，国产中档数控机床批量投放市场，部分高档数控机床开始进入重点行业的核心制造领域并得到初步应用，在少数核心制造领域已经取得重要突破。

在巨大的发展成就面前，我们也必须十分清醒地认识到，过去近十年的高速发展，我们更多地依靠了以下几个方面的因素：即，持续强劲的国内市场需求拉动，企业体制机制变革激发的发展动力和国家产业政策的有力支持。比较而言，技术进步和管理升级所发挥的作用则相对有限。客观上讲，持续旺盛的国内中低端市场需求，也在一定程度上延缓了行业的技术进步。就行业总体来看，我们仍然没有根本摆脱以规模扩张为主要特征的发展模式，我们的产业规模虽然很大，但产品结构水平偏低，仍然处于全球产业链的低端。我们一方面拥有世界第一的产业规模，另一方面则面临国内中高端市场尤其是高端市场仍然依赖进口的

局面，特别是中高档数控系统和主要功能部件对进口的依赖程度更高。因此可以说，现阶段行业的基本特征是“大而不强”，现阶段行业的主要矛盾是国内市场需求结构的加速升级与行业供给能力不相适应的矛盾。

综合分析行业现阶段基本特征、主要矛盾和近期国内市场的显著变化，我们不难判断，机床工具行业正处于实现重大战略转变的关键转折期。行业必须从“十二五”开始，分阶段实现“由大变强”的战略目标。这既是市场和发展环境变化对行业提出的客观要求，也是行业持续健康发展的现实需要，更是国家战略赋予机床工具行业的历史使命和责任。同时我们还必须看到，近年来行业企业的发展已经为全行业实施“由大变强”的战略转变奠定了坚实的行业基础。

二、“十二五”期间行业工作指导思想

以科学发展观为指导，转方式，调结构，聚焦国内中高端市场，以创新驱动战略为统领，采取重点突破带动全局的总体策略，发挥重大专项的带动引领作用，实现全行业工作重心的转移。即，要把全行业的工作重心转移到为国民经济重点行业核心制造领域服务上来；转移到不断提高中高档数控机床的国内市场占有率上来；转移到不断提高中高档数控系统和功能部件的国内市场占有率上来。在上述工作重心转移的过程中，推动行业实现由规模扩张向技术进步的发展模式转变，并逐步形成一批具有国际影响力的世界知名品牌和优势企业，完成行业“由大变强”战略转变的阶段性目标。

三、“十二五”期间行业“由大变强”的标志性目标

根据行业现状和实现行业“由大变强”战略转变的客观要求，机床工具行业在“十二五”期间要努力实现三方面的标志性目标。

1. 在为重点行业核心制造领域提供装备和服务方面取得突破性进展

航空航天、船舶、汽车和发电设备制造是国民经济和国防安全的重点行业，也是机床工具行业最重要的服务领域。以上行业的核心制造领域（如航空发动机、汽车发动机、船用柴油机和核电机组制造等）对所需机床工具装备有着很高的综合性能要求，是典型的高端细分市场。为这些核心制造领域提供装备和服务的能力，代表着机床工具制造业的最高水平，也是机床工具行业战略基础地位的价值体现，是机床制造强国的主要标志。经过多年的发展和积累，行业已经初步具备全面开发高端细分市场的基础条件。

“十二五”期间，机床工具行业要集中全行业力量，在已经取得的服务成果基础上，迅速转向开发中高端细分市场的能力建设。采取切实有效措施，在为上述重点行业核心制造领域提供装备和服务方面力求取得突破性进展（根据04重大专项实施计划，前述重点行业核心制造领域所需的高档数控机床和基础制造装备立足于国内的比例分别为：汽车制造领域40%，航空航天制造领域为50%，船舶制造和发电设备制造领域为70%）。同时，要密切跟踪战略性新兴产业的发展，并为其提供先进适用的机床工具装备。

2. 中高档数控机床国内市场占有率显著提高

中高档数控系统和功能部件国内市场占有率显著提高。中高档数控机床国内市场占有率、中高档数控系统和功能部件国内市场占有率较低，是现阶段行业主要矛盾的具体表现，实现上述两率显著提高的目标，是机床工具行业产业结构水平和核心竞争力提高的重要标志，是全行业“十二五”期间的主攻方向。根据《机床工具行业“十二五”发展规划》，2015年力争使国产数控机床的国内市场占有率达到70%以上。（根据《高档数控机床与基础制造装备科技重大专项“十二五”实施计划》，2015年力争将中高档数控系统的国内市场占用率由20%提高到50%，中高档功能部件的国内市场占用率由5%提高到20%。

3. 形成一批世界知名品牌和优势企业

拥有一批世界知名品牌和优势企业，是机床制造强国的又一重要标志，也是行业实现“由大变强”转变的必然要求。形成一批世界知名品牌和优势企业，必将带动全行业综合素质和结构水平的整体提升，加速行业“由大变强”转变的进程。经过多年的改革发展和市场历练，行业企业综合素质和市场竞争力普遍提高，行业内已经涌现出一大批具有明显发展潜力的优秀企业，有些企业的经济规模已经跃居世界前列，有些企业已经在某些高端细分市场领域取得重要突破，打造世界知名品牌已经成为行业内众多优秀企业的战略目标和事业追求。“十二五”期间有志于创建世界知名品牌的优秀企业，要将品牌建设纳入企业发展战略，统一规划，系统实施。要依靠技术和管理创新，发挥自身优势，专注市场目标，为中高端市场提供精良产品和优质服务。恪守信用，真诚服务，赢得市场和用户的信任，精心培育企业独特的品牌优势。

四、“十二五”期间机床工具行业的重点任务

“十二五”期间行业的重点任务围绕“十二五”标志性目标，机床工具行业

在“十二五”期间要着力完成以下重点任务：

1. 着力提升中高档数控机床的市场竞争力

产品市场竞争力的强弱决定着市场占有率的高低，而产品市场竞争力是其质量、价格、服务及交货期等多种竞争要素的综合体现。“十二五”期间，行业企业要针对国产中高档数控机床市场竞争力不强的现状，采取综合性措施，尤其要在产品的市场适应性和质量可靠性上下功夫，在产业化环节上下功夫，在制约中高档数控机床市场竞争力的深层次技术上下功夫，切实解决“形似神不似”的问题，不断提高中高档数控机床的产业化水平和可靠性水平，使国产中高档数控机床的综合市场竞争力得到显著提升。

2. 着力提升中高档数控系统和功能部件的配套能力

国产中高档数控系统和功能部件发展滞后，配套能力差，是机床工具行业长期存在的结构性问题，也是制约行业产业结构升级的重要因素。加速提升中高档数控系统和功能部件的配套能力，是行业“十二五”期间面临的紧迫任务。数控系统和功能部件企业要与主机用户紧密合作，全面提升中高档数控系统和功能部件的功能、性能和可靠性水平，着力加强产业化和质量保证能力的建设。面对如此艰巨的任务，还要充分调动各方面的资源和发展积极性，采取两条腿走路的方针，即，在积极支持专业化企业加快发展的同时，也鼓励和支持有条件的机床主机企业根据自身需求延伸产业链，积极介入数控系统和功能部件产业的发展，从而加速中高档数控系统和功能部件产业的发展进程。

3. 着力提升面向中高端市场的综合服务能力

综合服务能力建设是国内中高端市场对机床工具行业提出的紧迫要求，是机床工具行业进入发展新阶段所必须实现的自身素质提升，同时也是我们在国内中高端市场与国外强手竞争的特有优势。从现阶段的情况看，行业内企业不同程度地存在重硬件、轻软件，重销售、轻服务的倾向。缺乏对用户工艺的深入研究，缺乏为用户提供全面解决方案的能力，是行业综合服务能力中最薄弱的环节。“十二五”期间，行业企业要着眼于中高端市场的个性化需求特征，最大限度地发挥本土市场的特有服务优势，在与国外强手的竞争中赢得主动权，加速提升面向中高端市场的综合服务能力，完成由简单的“商品提供者”到“用户工艺师”的角色转变。

五、主要措施

为完成“十二五”目标任务，需要全行业协同意志，集中资源，凝聚人才，

攻坚克难，尤其是行业内具备较好基础的重点骨干企业要发挥攻坚主力军作用。针对行业现状和目标任务，制订如下主要措施。

（1）明确企业发展战略。行业企业要准确把握行业发展和市场变化的阶段性特征，正确处理好企业近期目标和长远发展的关系，进一步明确企业发展战略，自觉地把企业目标与国家战略紧密结合起来，主动承担国家责任和行业责任。聚焦国内中高端市场，切实把企业的注意力和工作重心调整到实现行业“十二五”标志性目标的方向上来。

（2）转变企业发展方式。行业企业要适应市场需求结构升级的新特点和发展环境的新变化，加速实现发展方式的根本转变，坚定不移地走以内涵式发展为主的发展道路，走以技术进步驱动为主的发展道路，走持续提升企业自身综合素质的发展道路，不断提高企业面向中高端市场的综合竞争力。

（3）调整产品和市场开发模式。行业企业要针对中高端细分市场的个性化需求特征，调整产品和市场开发模式。要特别重视与用户紧密结合，建立开发应用联盟，深入研究和掌握用户工艺特点，努力成为用户工艺专家，逐步培养为用户提供全面解决方案的能力。

（4）着力解决质量可靠性问题。行业企业要针对中高档产品的质量可靠性问题，正确处理好研发设计和产业化技术的关系，扭转重设计，轻工艺的倾向，加大在产业化环节的资源投入力度，把产业化技术摆在企业技术创新体系的应有位置上。切实加强产业化技术研究，恢复和进一步强化制造工艺基础工作，自觉培育文明制造的制度和文化。依靠扎实的基础工作，循序渐进地稳步提升中高档产品的质量可靠性，实现由“能做”到“做好”的本质跨跃。

（5）创新企业管理机制。行业企业要针对需求结构升级加速的市场新特征，在企业内部建立起与之相适应的市场响应机制，积极探索管理机制创新。为此要彻底改造面向低端市场，适用于低档传统产品的企业内部运行机制，优化资源配置，调整组织结构，重构业务流程，从制度和机制层面提高企业对中高端市场的快速响应能力。

（6）专注目标，形成企业特色。行业企业要克服心浮气躁情绪，坚持有所为有所不为的原则，充分借鉴行业内企业已经创造的成功经验，在理性分析自身优势和发展潜力的基础上，选准重点突破的市场方向，集中资源，专注目标，深耕细作，坚持长期不懈努力，真正做出自身的特色和品牌。

（7）创新体系和人才机制建设。加强以企业为主体的技术创新体系建设，行

业企业尤其是重点骨干企业要切实发挥技术创新主体的作用，勇于担负起技术创新主体的责任，除不断提高企业自主创新能力外，还要不断提高整合社会创新资源的能力，要综合运用原始创新、集成创新和引进消化吸收再创新等多种创新途径，充分吸收国内外优秀创新成果。逐步建立具有企业自身特点的人才培养和成长机制，加速技术创新体系和人才队伍建设，为实现行业“由大变强”战略转变提供支撑和保障。

在机床工具行业“由大变强”转变的进程中，中国机床工具工业协会要肩负起行业组织的责任与使命，进一步转变观念，防止用计划经济的思维定势和方法手段指导行业工作的习惯倾向，团结引导行业企业自觉承担国家责任和行业责任，把全行业的注意力引导到实现行业“由大变强”转变的方向上来，把全行业的工作重心转移到实现“十二五”标志性目标上来。为此，协会要进一步发挥好桥梁纽带作用，根据行业需求，搭建平台，推动合作，促进交流，为推动机床工具行业实现“由大变强”的战略转变做好服务工作。

六、政策建议

（1）支持机床工具行业针对重点行业核心制造领域开发一批重大新产品，组织一批产业化技术攻关。

（2）希望数控机床重大专项加大对示范应用工程的支持力度，进一步突出重点，完善和深化支持办法。

（3）支持行业重点骨干企业建设以企业为主体的相对完整的技术创新体系。

（4）加大对机床工具行业企业中高档产品产业化环节和两化融合技术改造的支持力度，尤其是对能力相对薄弱的数控系统和功能部件产业。

附录 H　标准化事业发展“十二五”规划（摘编）

国家标准化管理委员会

二〇一一年十二月

本规划根据《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》编制，主要阐明标准化事业发展的指导思想、发展目标、重点任务和保障措施，是“十二五”时期（2011—2015 年）标准化工作的重要依据。

一、发展环境

“十一五”期间，标准化事业快速发展，基础性、战略性地位显著增强，充分发挥了对经济社会发展的支撑和保障作用。通过推进实施标准化战略，有效调动了各方面力量和资源，全社会支持和参与标准化活动的氛围日渐浓厚。标准化工作机制不断完善，标准制修订更加公开透明，政府引导、市场驱动、社会参与、产学研相结合的工作格局基本形成。标准制修订步伐明显加快，批准发布国家标准 15 117 项，国家标准平均标龄由 10.2 年缩短至 5 年，制修订周期由平均 4.5 年缩短至 3 年，标准老化、缺失、滞后问题得到初步解决。标准化试点示范取得良好成效，国家级标准化试点示范项目达到 3 519 个，辐射和带动作用明显。标准化国际合作与交流广泛开展，参与国际标准化活动能力和水平显著增强，以我国技术和标准为基础的国际标准数量不断增加。我国成为国际标准化组织（ISO）常任理事国。

标准化技术组织和人才队伍建设进一步加强，全国专业标准化技术委员会达到 1 148 个，委员超过 4 万名，为事业发展提供了有力保障。“十一五”末，国家标准总数达到 26 940 项，备案行业标准 44 143 项，备案地方标准 19 214 项，覆盖第一、二、三产业及社会事业领域，较好满足发展需求的标准体系初步形成。

同时，标准化工作还存在着不适应、跟不上等问题。标准化法律法规相对滞

后，体制机制不尽完善，管理的系统性有待增强。标准体系结构不合理，整体质量水平不高，一些标准更新速度慢，实施效益不明显，与技术创新、产业发展和社会事业发展需求存在脱节现象。与发达国家相比，实质性参与国际标准化活动的能力和水平存在较大差距。标准化专家队伍建设有待加强，技术组织体系还需要进一步优化。

“十二五”时期是全面建设小康社会的关键时期，是深化改革开放、加快转变经济发展方式的攻坚时期。从国际环境新趋势看，经济全球化继续深入发展，科技创新和产业升级孕育新突破，全球治理结构进入调整期，围绕市场、资源、人才、技术、标准等的国际竞争更加激烈。标准作为创新技术产业化、市场化的关键环节，成为参与国际合作与竞争、保障产业利益和经济安全的重要手段。标准与技术法规、合格评定程序等共同构成技术性贸易措施，在国际贸易中的应用更趋频繁。标准已成为国际经济和科技竞争制高点。《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》在加快发展现代农业、改造提升制造业、培育发展战略性新兴产业、推动服务业大发展、建设资源节约型环境友好型社会、加强社会管理和公共服务等各个领域，都明确提出要加快建立、完善标准体系，进一步提高标准水平。从标准化自身发展的阶段性特征看，在初步解决标准老化、缺失和滞后问题的基础上，为适应科学发展、转型发展新的更高要求，提高标准化整体质量效益的任务更加紧迫。

二、指导思想和发展目标

（一）指导思想

以邓小平理论和“三个代表”重要思想为指导，深入贯彻落实科学发展观，以服务科学发展为主题，以支撑加快转变经济发展方式为主线，深入实施标准化战略，不断完善标准体系，推动标准有效实施，积极参与国际标准化活动，推进体制机制改革创新，加强基础能力建设，营造良好发展环境，全面提升标准化发展的整体质量效益，服务经济社会又好又快发展。

标准化具有基础性、战略性和系统性。服务、支撑和引领发展是标准化的核心任务。服务科学发展和支撑加快转变经济发展方式，是标准化紧贴需求、服务大局的内在要求，必须贯穿标准化的全过程和各领域。提升标准化发展的整体质量和效益，是有效服务、有力支撑发展的必然要求，需要综合运用战略思维与系统思想，加强战略管理，采取系统措施，增强标准化的科学性和有效性。基本要

求是：

——系统管理。

——重点突破。

——整体提升。

（二）发展目标

按照紧密衔接国家经济社会发展重大部署、解决标准化发展重大实际问题、在继承基础上创新发展的要求，着力提升标准化发展的整体质量效益，促进创新型国家和质量强国建设，实现标准化对经济社会发展贡献率的大幅提升。主要目标是：

——标准体系进一步完善。

——标准质量水平明显提高。

——标准实施效益明显增强。

——参与国际标准化活动取得新突破。

——标准化发展基础更加坚实。

三、提升制造业标准化水平

围绕优化产业结构、改善品种质量、提升安全水平、淘汰落后产能，完善制造业标准体系，研制机械装备、船舶、汽车、钢铁、有色金属、石化、建材、食品、消费品等领域的标准 1 500 项，推动原材料工业调整优化和食品、消费品工业改造提升，引导传统制造业向结构优化、技术先进、清洁安全、附加值高的产业链高端发展，促进制造业由大变强，提高我国制造业在全球经济中的竞争优势。

机械装备制造业标准体系建设重点：研制先进基础件、重大技术成套装备及关键零部件标准；制修订电工设备、特种设备、制药装备标准；开展精密、高效、清洁制造工艺技术标准，以及无损检测、装备可靠性、装备安全控制系统等关键共性技术标准研究。

四、加快战略性新兴产业标准化步伐

围绕提升产业层次、高起点建设现代产业体系，加快培育先导、支柱产业，大力开展节能环保、新一代信息技术、生物、高端装备制造、新能源、新材料和新能源汽车等产业的标准化工作，制修订 2 000 项标准，研制一批标准样品，建立健全战略性新兴产业标准体系，积极开展标准化试点示范，促进标准化与技术创新、产业发展同步，引领和支撑战略性新兴产业的发展。

（一）节能环保产业

（二）新一代信息技术产业

（三）生物产业

（四）高端装备制造产业

加强航空装备、卫星及应用、轨道交通装备、海洋工程装备、智能制造装备、科学仪器设备等领域关键核心技术标准的研制，推进高端装备制造产业标准体系建设，开展大型客机等重大专项标准化示范，促进国家科技重大专项成果转化，提高产业核心竞争力，发挥标准化在高端装备制造产业中的技术引领和支撑作用。

智能制造装备产业标准体系建设重点：研制高档数控机床与基础制造装备、智能控制系统、精密和智能仪器仪表与试验设备、智能专用装备标准。

（五）新能源产业

（六）新材料产业

（七）新能源汽车产业

五、积极参与国际标准化活动

健全参与国际标准化活动机制和支撑体系，为国内企业等有关方面参与国际标准化活动创造条件、搭建平台，鼓励和支持实质性参与国际标准化活动，深化国际交流与合作，为国际标准化发展作出更大贡献。

（一）健全参与国际标准化活动工作机制和体系

加快我国参与国际标准化活动的管理制度建设，规范参与国际标准化工作程序及组织机构和人员的管理。建立参与国际标准化活动的激励机制，鼓励国内企事业单位等有关方面更多参与国际标准化活动，充分发挥企业在参与国际标准化活动中的作用。在重要领域建立健全多部门和行业参加的国际标准化活动协作机制，加强跨领域参与国际标准化活动的协调指导。加强技术委员会在参与国际标准化活动中的推动和组织作用，促进国际国内标准化工作融合发展。

加强 ISO、IEC、国际电信联盟（ITU）及其他制定国际标准组织国内技术对口机构建设，在任务明确、基础较好的重点行业和地方，有序开展国际标准化协作平台建设，为国内组织机构和专家实质性参与国际标准化活动提供服务和支撑。

（二）推动实质性参与国际标准化活动

积极建设与国际标准组织的合作伙伴关系，持续开展 ISO、IEC、ITU 及其

他制定国际标准组织的政策与发展趋势研究，为参与国际标准活动提供政策支撑。充分发挥我国承担国际和区域标准组织管理职务的作用，实质性参与国际标准化战略、政策和规则的制订。

在不断扩大参与国际标准化活动范围的基础上，根据我国经济社会发展确定工作重点，提升参与国际标准化活动的针对性和有效性。加大对国内技术对口机构工作支持力度，提升我国承担的国际标准组织技术机构领导职务和秘书的工作水平。支持国内组织机构、专家更多参与和承担 ISO、IEC、ITU 及其他制定国际标准组织技术会议，广泛开展国际标准跟踪研究，加强国际与国内标准制修订工作衔接。支持企业实质参与国际标准制修订。按照技术先进、经济适用、安全可靠原则，继续推进国际标准转化。

（三）深化对外合作与交流

六、推进标准化体制机制改革创新

适应建设社会主义市场经济和转变政府职能的需要，完善统一管理与分工负责相结合的标准化管理体制，科学界定不同主体在标准化工作中的职责，加强标准化宏观管理和综合协调，增强标准化管理系统性和有效性。完善面向需求、广泛参与、公开透明、便捷高效的运行机制，提高标准化工作的科学性，增强标准化发展质量和活力。

（一）推进标准分类管理

实行强制性标准与推荐性标准的区别管理，提高强制性标准严肃性。完善强制性标准管理制度，严格强制性标准制定范围和程序。探索建立强制性标准评审委员会和重要强制性标准听证制度，健全标准评审机制。加强强制性标准宣传，促进强制性标准有效实施。

坚持国家标准统一立项、统一审查、统一编号和统一批准发布。加强行业标准和地方标准立项时与国家标准的协调性审查，切实履行行业标准和地方标准备案制度，促进国家、行业和地方标准的衔接配套。

支持企业、产业技术创新战略联盟结合技术研发、市场经营开展标准化活动，充分利用自主创新技术制定标准。在重大产业和关键共性技术领域，鼓励联盟研制国家标准和行业标准，积极参与国际标准制修订。

（二）健全标准化协调推进机制

积极争取建立国家标准化协商机制，研究、协调标准化工作中的重大问题。

加强跨行业、重大产业领域标准化的统筹规划，在关系国计民生的领域，建立标准化相关部门联席会议制度，研究制定标准化与技术创新、产业发展相结合的政策措施，协调解决跨领域重大标准化问题，加强重要技术标准制定、实施的指导与协调，推进标准的体系化、综合化。健全国家重大工程标准化跟进和配套机制，鼓励以龙头企业为主体，运用综合标准化方法开展重大产业标准研制。

（三）改进和加强技术委员会管理

优化技术委员会体系。加快战略性新兴产业、社会管理等领域技术委员会建设，调整不适应发展需要的技术委员会，对领域相近、范围交叉的技术委员会开展整合试点。加强技术委员会工作信息化建设，促进技术委员会工作公开、公正和高效。加大秘书处承担单位对技术委员会的支持力度，改善秘书处人员及委员工作条件。强化秘书长责任意识和服务意识，规范技术委员会秘书处组织制定标准的行为。严格技术委员会委员资质条件，充分发挥行业组织在推荐委员中的作用，增强技术委员会组成的代表性与合理性。健全技术委员会工作激励和约束机制，实行技术委员会秘书处竞争和退出机制，增强技术委员会活力。

（四）强化标准制修订管理

（五）加强标准实施反馈及效益评价

（六）深化标准化军民融合

七、加强标准化基础能力和发展环境建设

（一）完善政策法规体系

积极推动《国家标准化战略纲要》的发布和实施，推动各地实施标准化战略，将标准化纳入经济社会发展总体规划。积极推动标准化法的修订，加强标准化法与相关法律法规的协调。

（二）构建标准化科技支撑体系

完善标准化与科技紧密结合机制，推动标准化深度融入国家科技创新体系。发挥技术标准在科技创新活动中的导向和保障作用，强化关键共性、基础类、公益类、重大战略产品等重要技术标准的研究、制定和优先采用。建立标准化管理部门与科技、产业等主管部门会商机制，开展多层次战略合作，加强标准研制与技术创新、产业发展的衔接配套，在科技任务执行、成果转化应用及重大产业创新工程实施中，提供标准化工作支持。积极争取科技对重要标准研制的支持，鼓励科研机构和科技人员参与标准化工作。根据需求将形成标准作为科技项目立项

和验收的考核指标，推进关键共性技术标准的研制和应用，提升标准化总体技术水平。

建立全国标准化科技协作平台，创新标准化科技管理运行机制，整合和充分利用标准化科技项目、资金、人才、装备、信息等资源，畅通标准化科技需求，协调标准化科技规划计划，组织联合科技攻关，促进多出成果、快出成果、出好成果和多出人才、快出人才、出高层次人才。

（三）构建标准化公共服务体系

（四）加强标准化信息化建设

制定全国标准化信息化发展规划，指导、协调全国标准化信息化工作，形成国家、行业和地方有序推进标准化信息化建设格局，促进标准化创新发展。健全标准化信息化管理制度和协调机制，合理布局全国标准化信息资源，充分发挥组织机构代码、物品编码和国家标准馆藏的基础资源作用，完善国内外标准化信息资源收集与应用体系。构建权威、高效的标准化信息公共服务平台，完善支撑国家、行业和地方标准化工作的管理信息系统，建立标准化信息服务机制，提升标准化服务与管理水平。

（五）加强标准化技术机构和人才队伍建设

加强标准化科研机构和协会学会建设，充分发挥其技术支撑、人才培育和桥梁纽带作用。鼓励和支持高等学校、科研院所开展标准化原理、制度、技术等基础理论研究，开设标准化课程，建设标准化学科，设立硕士、博士学位授予点和博士后工作站，开展标准化学历教育和系统研究，培养高层次标准化人才。

（六）加大经费支持和保障

建立持续稳定的标准化经费保障机制，争取加大财政投入，将强制性和基础、通用、方法等标准的制修订经费列入财政预算，重点支持重要技术标准的研制、参与国际标准化活动、标准化试点示范和信息化建设。完善标准化经费投入保障的政策措施，建立标准化多元化多渠道投入机制，积极争取国家、行业和地方各类配套资金和专项资金支持，强化标准化技术委员会秘书处承担单位的投入保障，引导和鼓励企业、社会加大对标准化的投入。加强国家标准制修订经费管理，开展经费使用绩效跟踪评估，提高经费使用效益。

附录Ⅰ　国家“十二五”科学和技术发展规划（摘编）

中华人民共和国科学技术部

二〇一一年七月四日

“十二五”是我国全面建设小康社会的关键时期，是提高自主创新能力、建设创新型国家的攻坚阶段。为贯彻党的十七届五中全会精神和《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》的战略部署，全面落实科教兴国战略和人才强国战略，深入实施《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》（以下简称《科技规划纲要》），充分发挥科技进步和创新对加快转变经济发展方式的重要支撑作用，制定国家“十二五”科学和技术发展规划。

一、形势与需求

“十一五”是全面贯彻落实《科技规划纲要》、科技发展取得重要成就的五年。在党中央、国务院的正确领导下，我国科技工作坚持“自主创新，重点跨越，支撑发展，引领未来”的指导方针，坚定不移地走中国特色自主创新道路，把提高自主创新能力摆在全部科技工作的突出位置，顺利完成“十一五”主要目标和任务，我国科技发展进入重要跃升期。

——科技创新能力加速提升。16个科技重大专项全面实施，取得重要阶段性成效。重点领域初显跨越发展态势，取得了载人航天、探月工程、超级计算机、超级杂交水稻、高速铁路、实验快堆、量子通讯、铁基超导、载人深潜、诱导多功能干细胞等一批标志性重大成果。科技研发活动的产出快速增长，质量明显改善。“十一五”期间，我国发明专利授权量上升到世界第3位，国内发明专利申请量年均增长25.7%，授权量年均增长31%；国际科学论文总量由世界第5位上升到第2位，被引用次数由世界第13位上升到第8位。

——科技资源总量快速增加。“十一五”期间，全社会研发投入显著增加，

2010年达到6 980亿元，是2005年的2.8倍。国家财政科技投入年均增长20%以上。研发人员全时当量年均增长13%，2010年达到255万人年。国家（重点）实验室共新建156个，总数达到333个。国家工程（技术）研究中心新建114个，总数达到387个。新建国家工程实验室91个。国家企业技术中心发展至575个。一批标志性的重大科技基础设施、大科学工程建设完成。科技基础条件平台建设得到加强，有力促进了科技资源整合共享。

——科技支撑引领作用日益凸显。科技创新在支撑重点产业振兴、有效应对国际金融危机中作出积极贡献，为三峡工程、青藏铁路、西电东送等重大工程以及北京奥运、上海世博等重大活动提供重要支撑，在抗震救灾、粮食安全和应对气候变化中发挥了关键作用。国家高新区成为高新技术产业发展的重要力量，2010年27家省级高新区升级为国家高新区，国家高新区总数达到83家，国家高新技术产业总产值年均增长17%以上，2010年达7.6万亿元。国家自主创新示范区建设取得初步成效。全国技术市场合同交易总额年均增长20%，2010年达到3 906亿元的规模。

——自主创新环境不断优化。《科学技术进步法》修订实施，《科技规划纲要》配套政策加快落实，国家中长期人才、教育规划相继出台，知识产权战略实施力度明显加强。科技体制改革不断深化，国家创新体系建设取得重要进展。技术创新工程深入实施，知识创新工程试点取得明显成效，各具特色的区域创新体系不断完善，科技中介服务能力不断增强，军民融合的国防科技创新体系建设稳步推进。科技与金融结合更加紧密。科技对外开放不断拓展，国际科技合作进一步加强。创新文化和科研诚信建设得到重视，科普工作广泛开展，全社会关注创新、支持创新、参与创新的氛围正在形成。

“十二五”时期，世界科技发展呈现新趋势，国内经济社会发展提出新要求，我国科技发展仍处于可以大有作为的重要战略机遇期。

世界科技保持快速发展态势，学科交叉和技术融合加快，创新要素和创新资源在全球范围内流动加速，科学技术正孕育着新的突破。网络和信息技术加速渗透和深度应用，将引发以智能、泛在、融合和普适为特征的新一轮信息产业变革。新型节能环保技术、新能源技术等加速突破，将推动世界进入绿色、清洁、低碳发展的新阶段。生物医药、海洋开发、空间观测、新材料等领域的研发创新和产业集聚，将成为培育新经济增长点的强大动力。科学技术的快速发展不仅深刻地影响着人们的思维方式、生活方式和就业取向，而且将引发社

会生产方式、全球竞争格局和国民财富获取方式的重大变革。国际金融危机影响深远，世界主要国家都将科技创新提升为国家发展战略，纷纷大幅增加研发投入，强化核心关键技术的研发部署，竞相争夺科技创新人才，抢占战略性新兴产业发展的先机和主动权。

我国处在工业化、信息化、城镇化、市场化、国际化深入发展的重要时期。一方面，经济结构转型加快，体制活力显著增强，国民收入稳步增加，教育水平和人才质量持续提升，经济发展将保持长期向好的趋势，综合国力将再上新台阶，必将为科技事业发展提供坚实保障。另一方面，突破能源资源环境瓶颈制约，应对人口老龄化，解决发展不平衡、不协调、不可持续的问题，对科技创新提出更加迫切的需求。

面对新的形势，必须清醒地认识到，我国科技发展仍存在一些薄弱环节和深层次问题。主要表现为：原始创新能力比较薄弱，企业技术创新活力和动力亟待加强，产学研用结合不够紧密，高层次创新型科技人才相对缺乏，科技资源配置效率有待提高，自主创新政策落实需要进一步深化。我们必须科学判断世界科技发展趋势和准确把握经济社会发展需求，着力解决科技发展中的突出问题，充分发挥科技对经济社会发展的支撑引领作用。

二、总体思路、发展目标和战略部署

（一）总体思路

高举中国特色社会主义伟大旗帜，以邓小平理论和“三个代表”重要思想为指导，深入贯彻落实科学发展观，坚持“自主创新，重点跨越，支撑发展，引领未来”的指导方针，以科学发展为主题，以支撑加快经济发展方式转变为主线，以提高自主创新能力为核心，深化改革开放，深入实施《科技规划纲要》，着力攀登科技发展制高点，着力促进产业结构优化升级，着力满足改善民生的重大科技需求，着力提升科技创新基础能力，着力培养造就创新型科技人才队伍，全面推进国家创新体系建设，实现我国科技发展的战略性跨越，为进入创新型国家行列奠定坚实基础。

突出以下基本要求：

——坚持把实现创新驱动发展作为根本任务。坚定不移地把增强自主创新能力作为科技发展的战略基点，以创新促转型，以转型促发展，推进科技创新与绿色发展、协调发展、和谐发展和扩大内需紧密结合，推动经济社会发展尽快走上

创新驱动、内生增长的轨道。

——坚持把促进科技成果转化为现实生产力作为主攻方向。把科技进步和创新与产业升级紧密结合，推进先进科技成果向传统产业的转移和面向市场的商业化应用。围绕经济社会发展重大需求，努力攻克和掌握核心关键技术，推动高新技术产业化，加快培育发展战略性新兴产业，加强农业农村科技创新，支撑重点产业振兴和传统产业升级，促进现代服务业发展。

——坚持把科技惠及民生作为本质要求。坚持以人为本，把科技进步和创新与提高人民生活水平和质量、解决人民群众最关心的就业问题、提高全民科学文化素质和健康素质紧密结合，加强先进适用科技成果的推广普及，使科技进步成果能够更多地惠及广大人民群众。

——坚持把增强科技长远发展能力作为战略重点。瞄准世界科技发展前沿，前瞻部署基础研究和前沿技术研究，鼓励自由探索，持续增加科技积累，进一步提升原始创新能力。着力解决关系国家未来发展的重大科学问题和关键技术问题，推进重大科学技术突破，增强共性、核心技术突破能力。

——坚持把深化改革和扩大开放作为强大动力。加强国家中长期科技、人才、教育规划纲要实施的紧密结合，充分发挥市场配置资源的基础性作用，以建立企业主导技术研发创新的体制机制为重点，深化科技体制改革。提高科技发展的国际化程度，在更加开放的环境下推进自主创新。

（二）发展目标

“十二五”科技发展的总体目标是：自主创新能力大幅提升，科技竞争力和国际影响力显著增强，重点领域核心关键技术取得重大突破，为加快经济发展方式转变提供有力支撑。基本建成功能明确、结构合理、良性互动、运行高效的国家创新体系，国家综合创新能力世界排名由目前第 21 位上升至前 18 位，科技进步贡献率力争达到 55%，创新型国家建设取得实质性进展。

努力实现以下主要目标：

——研发投入强度大幅提高。全社会研发经费与国内生产总值的比例提高到 2.2%。基础研究和前沿技术研究投入持续增加，企业研发投入强度明显提升，科技创新投融资渠道进一步拓展。

——原始创新能力显著提升。科学和技术重点领域取得重大突破。国际科学论文被引用次数进入世界前 5 位，每万人发明专利拥有量达到 3.3 件，研发人员发明专利申请量达到 12 件 / 百人年。

——科技与经济结合更加紧密。产业技术创新明显加强，经济增长的科技含量明显提高。全国技术市场合同交易总额达到 8 000 亿元，高技术产业增加值占制造业增加值的比重达到 18%。

——科技创新更加惠及民生。社会公益领域科技水平整体提升，适应民生改善需求的技术和产品得到大力发展，科技支撑可持续发展和改善基本公共服务的能力显著增强。

——创新基地建设再上新台阶。符合经济社会发展要求和科技自身发展需求的创新基地布局更加合理。建设若干具有世界水平的研发机构和世界一流的研究型大学，建成一批重大科研基础设施和创新平台，形成比较完善的公共科技资源共享机制和服务体系。

——科技人才队伍进一步壮大。每万名就业人员的研发人力投入达到 43 人年。全民科学素质显著提高，公民具备基本科学素质的比例达到 5%。

——科技创新的体制机制不断完善。科技管理改革取得明显进展，激励自主创新的政策有效落实，全社会创新环境进一步优化。

专栏 1 “十二五”时期科技发展主要指标

指标	2010 年	2015 年
研发经费与国内生产总值的比例（%）	1.75	2.2
每万名就业人员的研发人力投入（人年）	33	43
国际科学论文被引用次数世界排名（位次）	8	5
每万人发明专利拥有量（件）	1.7	3.3
研发人员的发明专利申请量（件 / 百人年）	10	12
全国技术市场合同交易总额 (亿元)	3 906	8 000
高技术产业增加值占制造业增加值的比重（%）	13	18
公民具备基本科学素质的比例（%）	3.27	5

（三）战略部署

今后五年我国科技发展的总体部署：

——加快实施国家科技重大专项。在“十一五”全面启动实施基础上，重点突破，整体推进，力争在重点领域实现战略性跨越。

——围绕培育和发展战略性新兴产业，加强技术研发、集成应用和产业化示范，集中力量实施一批科技重点专项。

——围绕产业升级和民生改善的迫切需求，加强重点领域的科技攻关，力争突破一批核心关键技术和重大公益技术，切实支撑经济社会发展。

——前瞻部署若干重大科学问题研究，突破制约经济社会发展的 8 个关键领域重大科学问题，实施 6 个重大科学研究计划，强化重点战略高技术领域研究，加强科技创新基地和平台的建设布局。

——组织实施创新人才推进计划，加强科技领军人才、优秀专业技术人才、青年科技人才的培养、引进和使用，建立 60 个左右科学家工作室、300 个左右重点领域创新团队和创新人才培养示范基地。

——深化科技管理体制改革和政策落实，深入实施国家技术创新工程和知识创新工程。加强知识产权的创造、应用、保护和管理。深化国际科技合作，营造更加开放的创新环境。

三、加快实施国家科技重大专项

实施国家科技重大专项是科技工作的重中之重。将实施国家科技重大专项作为深化体制改革、促进科技与经济紧密结合的重要载体，加快建立和完善社会主义市场经济条件下政产学研用相结合的新型举国体制，加强围绕产业链的系统部署和产业技术创新战略联盟建设，集中力量突破一批关键共性技术，研发一批具有自主知识产权和市场竞争力的重大战略产品，建设一批技术水平高、带动性强的技术创新平台和产业化示范基地，培育一批具有国际竞争力的创新型企业。同时，结合培育发展战略性新兴产业的紧迫需求，充实调整国家科技重大专项。

1. 核心电子器件、高端通用芯片及基础软件产品

以满足国家信息产业发展重大需求的战略性基础产品为重点，突破高端通用芯片和基础软件关键技术，研发自主可控的国产中央处理器（CPU）、操作系统和软件平台、新型移动智能终端、高效能嵌入式中央处理器、系统芯片（SOC）和网络化软件，实现产业化和批量应用，初步形成自主核心电子器件产品保障体系。

2. 极大规模集成电路制造装备及成套工艺

重点进行 45 ～ 22 纳米关键制造装备攻关，开发 32 ～ 22 纳米互补金属氧化物半导体（CMOS）工艺、90 ～ 65 纳米特色工艺，开展 22 ～ 14 纳米前瞻性研

究，形成 65 ～ 45 纳米装备、材料、工艺配套能力及集成电路制造产业链，进一步缩小与世界先进水平差距，装备和材料占国内市场的份额分别达到 10% 和 20%，开拓国际市场。

3. 新一代宽带无线移动通信网

4. 高档数控机床与基础制造装备

重点攻克数控系统、功能部件的核心关键技术，增强我国高档数控机床和基础制造装备的自主创新能力，实现主机与数控系统、功能部件协同发展，重型、超重型装备与精细装备统筹部署，打造完整产业链。国产高档数控系统国内市场占有率达到 8% ～ 10%。研制 40 种重大、精密、成套装备，数控机床主机可靠性提高 60% 以上，基本满足航天、船舶、汽车、发电设备制造四个领域的重大需求。

5. 大型油气田及煤层气开发

6. 大型先进压水堆及高温气冷堆核电站

突破先进压水堆和高温气冷堆技术，完善标准体系，搭建技术平台，提升核电产业国际竞争力。依托装机容量为 1 000 兆瓦的先进非能动核电技术（AP1 000）核电站建设项目，全面掌握 AP1 000 核电关键设计技术和关键设备材料制造技术，自主完成内陆厂址标准设计。完成中国的装机容量为 1 400 兆瓦的先进非能动核电技术（CAP1 400）标准体系设计并建设示范电站，2015 年底具备倒送电和主控室部分投运条件。完成高温气冷堆关键技术研究，2013 年前后示范电站建成并试运行。加强压水堆及高温气冷堆安全技术支撑和核电站乏燃料后处理科研攻关，保障核电安全。

7. 水体污染控制与治理

8. 转基因生物新品种培育

9. 重大新药创制

10. 艾滋病和病毒性肝炎等重大传染病防治

11. 组织实施大型飞机等其他国家科技重大专项

四、大力培育和发展战略性新兴产业

培育和发展战略性新兴产业对推进产业结构升级、加快经济发展方式转变具有重要意义，必须把突破一批支撑战略性新兴产业发展的关键共性技术作为科技发展的优先任务。在节能环保、新一代信息技术、生物、高端装备制造、新能源、新材料和新能源汽车等产业领域，集中优势力量进行攻关，为增强战略性新

兴产业的核心竞争力奠定坚实基础。充分发挥国家科技重大专项的核心引领作用和高新区的辐射带动作用，大力推进创新成果的集成应用和商业模式创新，加快战略性新兴产业成为国民经济的先导性产业和支柱性产业的步伐。

1. 节能环保

2. 新一代信息技术

3. 生物产业

4. 高端装备制造

重点发展大型先进运输装备及系统、海洋工程装备、高端智能制造与基础制造装备等。实施高速列车、绿色制造、智能制造、服务机器人、高端海洋工程装备、科学仪器设备等科技产业化工程。研发高速列车谱系化和智能化、绿色产品设计、机器人模块化单元产品等重大关键技术，提升我国制造业的国际竞争力。

专栏 2　高端装备制造产业技术

高速列车。重点发展高速列车的智能化、谱系化与节能核心关键技术，提升高速列车技术装备、基础设施服役状态检测监测关键技术及高速铁路减振降噪技术，形成我国高速列车智能化安全技术装备和车型系列，构建技术装备及基础设施服役状态检测技术和装备体系。“十二五”高速列车产业总产值预期超过 3 000 亿元。

绿色制造。重点发展先进绿色制造技术与产品，突破制造业绿色产品设计、环保材料、节能环保工艺、绿色回收处理等关键技术。开展绿色制造技术和绿色制造装备的推广应用和产业示范，培育装备再制造、绿色制造咨询与服务、绿色制造软件等新兴产业。

智能制造。发展工业机器人、智能控制、微纳制造、制造业信息化等相关系统和装备，重点研发工业机器人的模块化核心技术和功能部件、重大工程自动化控制系统和智能测试仪器及基础件等技术装备，建设产业技术培训体系，推动技术集成验证与示范应用工作，制定技术与安全标准，培育一批高技术创新企业，实现制造系统智能运行，改造提升装备制造业。

服务机器人。开展服务机器人模块化体系结构研究，重点发展服务机器人机构、感知、控制、交互和安全等模块化核心技术和功能部件。建设一批技术集成验证与示范应用平台，制定相应技术、安全标准，培育一批高技术创新企业，建立服务机器人产业技术创新联盟，促进服务机器人产业发展。

高端海洋工程装备。发展海洋油气勘探开发、深海运载作业和海洋环境监测关键技术与装备，重点开发高精度勘探系统、深水平台、水下生产系统及辅助作业等重大装备，研制一批载人 / 非载人深海潜水器作业系统，开发海洋环境远程探测雷达、船载大深度拖曳、深海浮 / 潜标等海洋监测设备。

科学仪器设备。着力新原理、新方法开发，研发信息、生物医药、新材料、新能源、资源环境等领域的重点科学仪器设备核心技术和关键部件，发展量大面广的科学仪器设备，推动光谱、色谱、质谱等通用仪器的小型化、便携化和专用化。强化现有仪器设备的综合利用。强力推动国产科学仪器应用和示范，实现国产优质科学仪器设备的广泛应用，带动相关产业和服务业的发展。

5. 新能源

积极发展风电、太阳能光伏、太阳能热利用、新一代生物质能源、海洋能、地热能、氢能、新一代核能、智能电网和储能系统等关键技术、装备及系统。实施风力发电、高效太阳能、生物质能源、智能电网等科技产业化工程。建立健全新能源技术创新体系，加强促进新能源应用的先进适用技术和模式的研发，有效衔接新能源的生产、运输与消费，促进产业持续、快速发展。

专栏 3　新能源产业技术

风力发电。重点发展 5 兆瓦以上风电机组整机及关键部件设计、陆上大型风电场和海上风电场设计和运营、核心装备部件制造、并网、电网调度和运维管理等关键技术，形成从风况分析到风电机组、风电场、风电并网技术的系统布局。积极推进 100 兆瓦级海上示范风场、10 000 兆瓦级陆上示范风场建设，推动近海和陆上风力发电产业技术达到世界先进水平。

高效太阳能。重点发展大型光伏系统设计集成、高效低成本太阳电池、薄膜太阳电池、太阳能热发电等关键技术、组件和成套设备。掌握太阳能发电全产业链的核心技术、生产工艺与设备。扩大实施“金太阳”等示范工程，加强服务体系建设，实现大规模推广应用。

生物质能源。重点发展沼气生产车用燃料、纤维素基液体燃料、农业废弃物气化裂解液体燃料、生物柴油、非粮作物燃料乙醇、250~500 吨 / 日系列生物质燃气开发利用等关键技术和装备，加强生物燃气、城市与工业垃圾能源化、生物液体燃料、固体成型燃料、能源植物良种选育及定向培育等五个方向的研发部署，在重点区域实施“十城百座”等示范工程。形成 10~20 条生物质能源生产线和成套装备产品供应系统。

智能电网。重点发展大规模间歇式电源并网与储能、高密度多点分布式电流并网、电动汽车充电设施与电网互动协调运行技术、分布式供能、大电网智能分析与安全稳定控制系统、输变电设备智能化等核心技术。建设百万千瓦级海上风电场送出、大电网智能调度与控制、智能变电站等示范工程，建成若干个智能电网示范园区和集成综合示范区。

6. 新材料

7. 新能源汽车

五、推进重点领域核心关键技术突破

紧紧围绕我国产业转型升级和改善民生的重大需求，以突破重点领域核心关键技术和掌握自主知识产权为重点，引导产业链向高端延伸，为形成现代产业体系提供有力科技支撑，大力发展惠及民生的科学技术。

（一）加强农业农村科技创新

（二）促进重点产业技术升级

围绕发展现代产业体系和提升产业核心竞争力，加强产业关键共性技术研

发，加快行业先进适用技术研发和创新成果推广应用，促进高新技术产业化，支撑重点产业振兴和传统产业改造升级，促进产业整体技术水平明显提高，科技成果转化和产业化能力不断增强，重点产业能耗和排放进一步下降，在关系国计民生的若干重点领域基本建成具有国际竞争力的现代产业技术体系。

1. 强化关键共性技术攻关，提升重点产业核心竞争力

加强技术研发与产业发展的结合，提高制造业整体技术水平。加强设计技术、可靠性技术、制造工艺、基础零部件和电子元器件、大型铸锻件、仪器仪表、计量测试设备等方面基础性、共性技术研发。加快突破机械、钢铁、有色、石化、纺织、轻工、建材等产业核心关键技术，强化新品种、新工艺开发，重点发展重大工程和重大装备急需的新型高附加值材料。加大精密加工技术及装备、百万吨乙烯 / 精对苯二甲酸（PTA）关键工艺与装备、硬岩推进机装备及关键技术、碳纤维及复合材料加工关键装备、发光二极管制造关键装备、高效率低成本洁净钢生产技术等研发力度，提升系统集成水平，促进装备制造高端化。推动制造业信息化服务增效和制造装备及产品“数控一代”创新应用示范，提高制造业信息化和自动化水平。

加强信息产业关键技术和基础软硬件的研发，重点突破高端容错计算机系统、海量数据存储服务系统、集成电路及关键元器件、新型传感器和智能化信息处理技术、高性能网络、宽带无线移动通信技术、网络与信息安全技术、导航与位置服务技术等关键技术。加强信息与空间技术产品的集成创新，培育新技术和新业务，推动信息与空间产业发展，全面提高国民经济和社会信息化水平。

加强现代交通运输业技术攻关。突破重大运输通道建设工程、综合交通枢纽等交通基础设施建设关键技术。加大内河航运综合能力提升关键技术研发，提升内河航运技术水平。推进交通核心重大装备研制，重点发展汽车节能减排、高性能船艇、安全高效民用飞机等关键技术，深入推进高速铁路重大装备、绿色船舶装备等现代交通领域重大装备发展。加快交通信息系统和智能化技术的发展应用，有效支撑各种运输方式的无缝衔接，提高综合运输效能。

2. 加大先进适用技术研发和推广力度，促进技术转移和成果产业化应用

围绕促进行业节能减排、提高生产效能、改善工艺流程、降低生产成本，重点研发工业节能技术、可再生能源综合利用技术、计算机辅助设计与制造技术、自动检测与控制技术、计量测试技术、环保材料规模生产技术、新型高效催化技术、绿色化无害化资源回收再利用处理技术等量大面广的行业先进适用技术，推

动技术创新成果在全行业的推广应用。结合国家重大工程建设，加强工程装备制造、系统优化和控制、资源综合开发利用等工程技术的研发、集成和推广应用。充分发挥科技中介机构、企业技术研发机构、工程中心等在技术转移、工程化试验和产业化应用中的作用，加强技术的测试、验证认证许可体系建设和产业化配套能力建设。

（三）加快推动现代服务业科技创新

发展知识和技术密集型服务业，加强现代服务业重点领域技术攻关，加大技术集成和商业模式创新，推出一批系统解决方案，建设现代服务业科技创新和产业发展的支撑体系，大力提升我国现代服务业创新能力，加快形成现代服务业集群，显著提高现代服务业比重和水平。

1. 加强技术集成与模式创新，发展知识和技术密集型服务业

大力开展服务模式创新，加强网络信息技术集成应用，着力推进网络化、个性化、虚拟化条件下服务技术研发，建立支持服务全过程的技术体系，形成若干行业技术解决方案、技术平台和标准规范。重点发展电子商务、工业设计、现代物流、系统外包、制造业服务等，改造提升生产性服务业；重点发展现代化教育教学、数字文化、数字医疗与健康、数字生活、数字旅游、空间位置信息服务等，大力培育和发展新兴服务业；重点发展研发设计、技术转移转化、创新创业、科技咨询和科技金融等服务，推进科技服务业创新发展。在现代服务业的若干重点领域加强应用示范，建设一批现代服务业科技创新示范城市、示范园区、示范企业和产业化基地，构建特色明显、优势互补的现代服务业发展格局。

2. 加强创新能力建设，构建现代服务业科技创新体系

围绕现代服务业发展的重点方向，鼓励产学研合作开展共性工程技术研究和前沿技术研究。鼓励现代服务业企业通过企业技术中心建设等措施，增强现代服务业模式创新和技术集成应用的能力。发挥现代服务业科技园区（基地）在技术转化、创业孵化和企业发展服务的系统功能，打造科技园网络创新服务平台，实现创新要素的在线集成和共享。

3. 加强制度创新和支撑体系建设，优化现代服务业发展环境

拓宽融资渠道，引导社会资金投资现代服务业科技创新。探索建立现代服务业发展的评价指标体系和学科体系。支持现代服务业科技相关科研院所、高等学校、企业开展国际交流与合作。加强现代服务业创新发展的知识普及。适应现代服务业创新特点，加强对促进技术创新、商业模式发展、知识产权保护等方面的

制度建设。

（四）大力加强民生科技

（五）建立支撑可持续发展的能源资源环境技术体系

六、前瞻部署基础研究和前沿技术研究

基础研究和前沿技术研究是提升我国原始创新能力和科技长远发展能力的重要基础，是推动科技进步和创新的源泉，必须依据国家重大战略需求和世界科技发展趋势，予以强化部署。

（一）继续加强基础研究

坚持面向国家重大战略需求和瞄准世界科学前沿，进一步完善学科布局，大力推动学科交叉和融合。积极营造有利于自由探索的学术环境，引导兴趣驱动的科学研究聚焦于国家战略需求。加强在若干科学前沿和事关经济社会发展重要方向的战略部署，突破一批关键科学问题，取得一批重大原始创新成果，显著增强我国在世界科学研究中的地位和影响力，为科技长远发展奠定重要基础。

1. 推动学科协调均衡发展，促进学科交叉融合

重视基础研究基本理论和学科建设，结合当前我国学科发展态势，全面协调基础学科发展。继续保持数学、材料科学、工程科学等学科在国际上的优势地位，重点支持代数数论与代数几何、材料科学基础理论、深部资源绿色开发和绿色冶金理论与技术的研究。加大对空间科学、动植物分类学、流行病学、工程海洋学等弱势学科的扶持。加强基础学科之间、基础学科与应用学科、科学与技术、自然科学与人文社会科学的交叉融合，支持医学、纳米、生物信息学等综合交叉学科的发展，积极扶持新兴学科，推动学科整体水平的提高。

2. 探索科学前沿，超前部署若干重大科学问题研究

继续深化基础科学前沿领域研究，包括生命过程的定量研究与系统整合、凝聚态物质与新效应、物质深层次结构和宇宙大尺度物理学规律、核心数学及其在交叉领域的应用、地球系统过程与资源环境和灾害效应、新物质创造与转化的化学过程、脑科学与认知科学、科学实验与观测方法、技术和设备创新等重点研究方向，加强在合成生物学、暗物质等新研究方向的部署。

3. 坚持需求导向，着力突破制约经济社会发展的重大科学问题

围绕国家战略需求，重点部署农业生物遗传改良和农业可持续发展中的基础研究、能源可持续发展中的关键科学问题、信息科学技术基础、地球和环境系统

关键过程和规律、人类健康与疾病的基础研究、基础材料改性优化和新材料设计探索及服役失效机理、制造与工程的科学基础、多学科综合交叉的基础研究、空间科学和航空航天重大科学问题等事关经济社会发展的重大科学问题研究。

4. 集中优势力量，推进重大科学研究计划实施

5. 加强科技基础性工作，持续增强科学研究积累

加强对三极（南极、北极、青藏高原）、三深（深海、深地、深空）、极端环境以及西部干旱地区等重点区域的生态、资源、环境等科学考察调查，积极开展对我国周边及典型区域的综合科学考察。支持对动物志、植物志、孢子志和地理志等重要科技文献、志书、典籍和图件的编研。加强对相关科学数据的采集和保护，进一步完善不同领域和行业的科学数据库建设，扩大数据汇交试点，促进科学数据共享，提高服务能力和水平，为深入开展相关领域的科学研究和政府决策提供科学支撑。

（二）强化前沿技术研究

前沿技术是高技术领域中具有前瞻性、先导性和探索性的重大技术，是未来高技术更新换代和新兴产业发展的重要基础。加大对代表世界高技术发展方向、对国家未来新兴产业的形成和发展具有引领作用的前沿技术的前瞻部署和研发力度，积极抢占前沿技术发展的制高点。对有利于重点产业技术更新换代、实现跨越发展的前沿技术，要集中力量予以攻克，力争形成一批重大产品和技术系统。

1. 信息技术

突破光子信息处理、量子通信、量子计算、太赫兹通信、新型计算系统体系、网构软件、海量数据处理、智能感知与交互等重点技术，攻克普适服务、人机物交互等核心关键技术。研发未来网络 / 未来互联网、下一代广播电视、卫星移动通信、绿色通信与融合接入、高性能计算与服务环境、高端服务器、海量存储与服务环境、高可信软件与服务、虚拟现实与智能表达等重大技术系统和战略产品。

2. 生物和医药技术

重点研发基因组学及新一代测序技术、蛋白质组学技术、干细胞技术、生物合成技术、生物治疗技术、分子诊断和分子影像技术、生物信息技术、药靶发现与药物分子设计技术。大力开发诊断试剂、疫苗、抗体药物、灵长类疾病动物模型及血液制品、组织工程技术和产品、工业生物技术、生物能源技术、生物医学工程关键部件和生物医学应用材料。发展生物资源开发保护、生物安全监测防控

技术及装备。建立基因测序、蛋白质组学、转化医学等研发平台、抗体库和疫苗研发基地。

3. 新材料技术

抢占微电子 / 光电子 / 磁电子材料与器件、新型功能与智能材料、高性能结构材料、先进复合材料、纳米材料和器件、超导材料、高效能源材料、生态环境材料、低碳排放材料等前沿制高点。开展材料设计制备加工与评价、材料高效利用、材料服役行为和工程化等关键技术的研发。攻克稀缺材料替代与高效利用、生物医用新材料及表面改性、高性能光电子材料与器件集成、先进晶体与全固态激光材料、国家重大工程用关键材料等核心关键技术。

4. 先进制造技术

围绕绿色制造和智能制造，在微纳制造技术、重大装备技术、智能机器人技术、系统控制技术、制造服务技术等五个方向进行前沿及核心技术攻关。重点研发面向制造业的核心软件、精密工作母机设计制造基础技术、面向全生命周期的复杂装备监测与服务支持系统、现代制造物联网服务平台、控制系统的安全防范与安全系统、工程机械装备、矿山机械装备、人工器官制造、基于微纳制造的绿色印刷技术与装备和远洋渔业装备等。

5. 先进能源技术

重点探索面向第四代核能、氢能与燃料电池、海洋能、地热能、二氧化碳捕集、利用与封存等方向的前沿技术。围绕节能减排、能源材料和装备、生物质能、储能等战略必争领域和产业核心竞争力的提升，突破核心关键技术。针对可再生能源、节能技术等重大战略技术方向进行重点部署，开发一批重大战略产品和技术系统。

6. 资源环境技术

攻克一批矿产资源与油气资源高效勘探开发与集约化利用核心关键技术与装备，提升重大关键装备的研发能力和行业核心竞争力，大幅提升我国战略性资源勘探与开发利用效率。加强新型污染物治理技术与装备开发，加快推进清洁空气技术与土壤修复技术研发，强化环境事件应急技术与装备开发。大力发展先进环境监测仪器与智能化生态环境监测技术，强化环境污染风险识别与阻断技术开发，提升生态环境监测技术水平。

7. 海洋技术

以形成海上高技术作业能力为目标，强化核心技术开发和装备研制，推进

海洋技术由近浅海向深远海的战略转移。围绕海洋环境监测、海洋油气与矿产资源开发、海洋生物资源利用、深海运载与作业等方面，大力发展深水油气勘探开发、深海潜水器、深远海海洋环境监测和海底观测网等核心技术，研制一批海洋开发重大装备，初步具备深海油气勘探开发重大装备的设计与制造能力，推动国家深海公共试验场建设。

8. 现代农业技术

重点攻克农业生物功能基因组学、动物干细胞、靶标发现与药物分子设计、食品营养品质靶向设计和农业物联网等前沿技术。着力突破分子设计育种、食品加工与生物制造、海洋农业、数字农业与智能装备制造以及农产品生境控制等核心关键技术。创制优良动植物新品种、液体生物燃料、生物反应器、新型生物农药、基因工程疫苗和药物、农业智能装备、健康食品、海水养殖等重大产品。

9. 现代交通技术

重点发展大运量高速载运、新能源载运、一体化交通系统安全等技术与装备，实现高效运输服务。重点突破汽车动力系统、重型直升机和船用中速柴油机等制约交通装备发展的重大技术。重点发展交通系统信息化、智能化技术和安全高速的交通运输技术，提高运网协同能力和运输效率。突破交通运输安全保障、资源节约与环境保护、智能化养护等方面的关键技术。

10. 地球观测与导航技术

大力开展先进遥感、地理信息系统、导航定位、深空探测等前沿技术研究。重点建立全球二氧化碳监测、遥感感知网、全球空间信息主动服务、导航定位与位置服务等重大技术系统，培育以授时、导航与位置服务为核心的空间信息产业，形成遥感信息、导航定位和移动通信卫星新兴产业增长点。

七、加强科技创新基地和平台建设

科技创新基地和平台是支撑科技进步和创新的重要物质基础。要以加强自主创新能力建设为目标，优化科技资源配置，推进科技资源开放共享和高效利用，基本建成满足科技创新需求的资源和条件支撑体系。

（一）加强科技创新基地建设布局

依据国民经济和社会发展需求、科技发展的内在规律，继续完善现有各类创新基地建设布局。加强分类指导，引导各类创新基地按照各自功能要求良性发展。推动国家重大创新基地建设。

在能源科学、生命科学、地球科学、环境科学、材料科学、空间和天文科学、粒子物理和核物理、工程技术科学等领域，布局建设一批国家重大科技基础设施和大科学装置。

在能源、信息、资源环境、农业、人口健康、先进制造、交通运输和公共安全等国家战略需求领域，以及基础前沿领域和新兴交叉学科领域，按照择优布局的原则，继续在高等学校和科研院所推进国家重点实验室建设，打造国际一流水平的基础研究骨干基地。结合技术创新工程实施，加强企业国家重点实验室建设。积极推进港澳地区国家重点实验室伙伴实验室建设。促进军民共建国家实验室建设。支持部门和地方加强重点实验室建设。围绕重大科学工程和重大战略科技任务，建设若干国家实验室。继续稳步推进国家野外科学研究观测研究站（网）建设。加强国防科技重点实验室、国防科技先进技术研究中心、军民共建实验室建设。

在关键产业技术领域，结合区域特色和优势科技资源，建设一批国家工程（技术）研究中心、工程实验室，加强考核评估，调整优化建设布局。加强国家大型科学仪器中心、国家级分析测试中心、国家科技图书文献中心、国家实验动物种子中心、国家计量科技创新基地等综合实验服务基地建设。

进一步加强大学科技园、企业技术中心、生产力促进中心、技术转移示范中心、科技企业孵化器等技术创新、成果转化、创业孵化基地的建设和布局。推动国际联合研究中心、国际科技合作创新联盟和国际技术转移中心等国际科技合作基地建设。

（二）加强科技条件资源的开发应用

加强科学仪器设备自主研发和应用。以新原理、新方法为突破口，研发若干前沿重大科研仪器设备。集中力量攻克若干科学仪器设备核心技术和关键部件，研发一批重要通用科学仪器，提升科学仪器设备产业的核心竞争力。加强科学仪器的小型化、专用化研究，加快推进具有自主知识产权科学仪器的应用示范和产业化。

着力推动科研用试剂、优势实验动物资源、实验动物新品种（系）的开发与应用，加强重要分析测试技术研究和应用。加强科技文献领域的关键技术研究和应用。建立高精确度和高稳定性的计量基标准和标准物质体系，加强面向战略性新兴产业发展、民生改善以及其他重点领域的计量基标准、计量方法与计量测试技术研究。加强科学思维、科学方法和科学工具研究，强化创新方法

的应用推广。加强科技条件资源的质量保障体系建设，推动科技条件资源管理的规范化和制度化。

（三）推进科技平台建设和开放共享

进一步完善科技基础条件平台和技术创新服务平台的建设布局，强化支撑服务能力建设，更加突出平台的开放运行和为研发创新提供公共服务的能力。在信息、生物、新材料、航空航天、能源、海洋、节能减排等重点领域以及新兴、前沿和交叉学科领域，推动多学科交叉集成、面向社会开放服务的共享平台建设。继续加强科学仪器设备、计量基标准装置、科技文献、科学数据、网络科技环境、自然科技资源等各类科技资源的整合和开放共享。建立健全平台运行服务的评价体系、管理模式和支持方式。鼓励科研院所、高等学校向社会开放科技资源。

加快科技资源开放共享网络建设，构建国家科技资源调查的长效机制，加强科技资源整合与共享的标准化工作。按照分层建设、分级管理的要求，加速中央和地方优质资源的衔接互动。

八、大力培养造就创新型科技人才

人才资源是第一资源，规模宏大的创新型科技人才队伍是加快我国科技进步和创新的根本保障。把科技人才队伍建设摆在科技工作的突出位置，以培养、引进和用好高层次创新型科技人才为核心，创新人才培养体制机制，营造人才成长良好环境，造就规模宏大、结构合理、素质优良的创新型科技人才队伍，为创新型国家建设提供强大的人才保障和智力支持。

（一）壮大和优化创新型科技人才队伍

继续增加科技人力资源供给，进一步优化科技人才结构，提升科技人才质量。重视高层次创新型科技人才队伍建设，加强世界一流科学家、科技领军人才的培养。加大对优秀青年科技人才的发现、培养和资助力度，建立适合青年科技人才成长的用人制度。加强面向生产一线的实用工程人才、卓越工程师和专业技能人才的培养。加强对实验技师等科研辅助人才的培养和培训。重视科技管理、科技服务和科普人才队伍建设，加快科技成果转化服务专业人才队伍培养。通过进一步调整和优化科技人才队伍布局，形成各类人才衔接有序、梯次配备的人才队伍结构。

（二）造就一批高层次科技领军人才和创新团队

以高端人才为引领，坚持整体推进与重点突破相结合，组织实施创新人才

推进计划，深入推进“千人计划”“长江学者奖励计划”“国家杰出青年科学基金”“百人计划”等高层次科技人才培养和引进工作。重点培养和引进各类高层次创新型科技人才 2.5 万人以上。推动科学家工作室建设，凝聚一批世界一流科学家。瞄准世界科技前沿和我国产业发展需求，重点支持和培养 2 000 名左右中青年科技创新领军人才。加强高水平创新团队建设，在实施创新人才推进计划和相关科技计划中，加大对优秀创新团队的引导和支持。

（三）改革完善创新型人才的教育培养模式

深入推进科技教育结合，着力完善适应国家科技发展需求的人才培养模式。推行创新型教育方式方法，把创新教育环节融入国民教育、职业教育和继续教育体系。把提升科学研究能力作为创新型人才培养的关键环节，支持研究生参与承担科研项目，为本科生参加科研活动创造条件，突出培养各级在校学生的科学精神、创造性思维和创新能力。根据国家科技和经济发展需要，及时引导高等学校调整优化学科专业，充分发挥高等学校的人才优势和创新潜力，加强交叉学科、新兴学科领域专业人才培养。加强高等学校工程技术类专业的实践教育，推行产学研合作教育模式和“双导师”制，促进高等学校与科研院所、企业联合培养科技人才。以国家重大科研项目和重大工程、重点学科和重点科研基地、国际学术交流合作项目等为依托带动人才培养。鼓励高新区、大学生创业园等机构开展高等学校毕业生技能培训和创业培训。进一步弘扬科技工作者求真务实、勇于创新的科学精神。

（四）支持科技人员创新创业

重点依托高新区、大学科技园、科技企业孵化器、行业协会等，扶持和鼓励科技人员的创新创业活动。加强对科技型中小企业创新创业和发展的政策支持，积极为创业人才提供服务，培养杰出的创新型企业家和高级管理人才，充分发挥企业家和科技创业者在科技创新中的重要作用。支持重点产业领域中以企业为主体的产学研联盟、研发组织、技术平台等创新团队，为其共性技术研发、公益服务等活动提供支持。

九、提升科技开放与合作水平

扩大科技开放、加强合作交流是适应国内外新形势新变化、深化改革开放的重要内容。研究制定我国科技发展国际化战略，以全球视野搭建合作创新平台，营造开放创新环境，充分吸引全球创新资源，推动我国科学技术事业融入全球科

技发展潮流，在更高起点上提升我国科技创新能力。

（一）大幅提高科研活动国际化程度

加强气候变化、能源、环境、粮食安全、重大疾病防控等全球性问题的国际科技合作研究，鼓励国内研发机构与世界一流科研机构建立稳定的合作伙伴关系，提升合作层次和水平。支持国外高水平科学家来华开展合作研究，支持国内优秀科研人员到国外开展合作研究与接受培训。鼓励我国企业和研发机构开展研发外包业务。支持我国企业和研发机构设立境外研发机构。逐步加大国家科技计划的开放力度。推动国际科技合作基地、区域科技合作中心和合作示范园区建设，培育一批从事国际技术转移业务的中介服务机构。积极推动民间国际科技交流与合作。支持国际学术组织、跨国公司和国外研发机构在华建立总部或分支机构。

（二）进一步完善政府间科技合作机制

巩固和深化政府间科技合作，拓展合作领域，形成层次合理、重点突出的科技合作新格局。深入推进中美创新对话、中俄全面科技合作、中欧科技伙伴计划、中日韩联合研究计划等。继续推动在能源资源开发利用、新材料与先进制造、信息网络、现代农业、生物与健康、生态环境、空间与海洋等前沿技术领域的合作研发。积极开展气候变化、重大疾病、公共安全等全球性重大科技问题的联合攻关。

（三）积极参与国际科技组织与国际大科学计划

积极参与国际科技组织和区域组织的多边科技合作和重大科研项目。支持我国优秀科学家到国际科技组织、学术组织、标准组织和学术期刊任职，提升我国参与重要国际标准制定的能力。有效参与国际大科学计划和大科学工程，继续实施我国发起的“可再生能源与新能源国际合作计划”和“中医药国际科技合作计划”，适时推动发起应对气候变化国际科技合作研究等国际和区域性大科学计划。

（四）加强与发展中国家的科技合作

组织实施面向发展中国家的“科技伙伴计划”，进一步加强与发展中国家的科技合作。在非洲、拉美、东南亚、中亚等地区建立国际技术转移示范点，探索在发展中国家推广科技服务和科技创业的经验。重点在医疗健康、粮食增产、信息通讯、资源环保、生物多样性等领域开展联合研发、技术推广、技术培训、联合考察等合作，扩大科技对外援助，帮助发展中国家加强科技创新能力建设。

（五）加强与港澳台地区的科技合作

加大内地与港澳台地区科技交流与合作的力度，形成更加紧密的科技合作关

系。支持港澳地区科技人员、机构参与和承担国家科技计划项目。支持内地和港澳地区的高等学校、科研机构合作设立联合实验室、研发中心，推动研发平台和大型实验仪器设备的互相开放共享。落实“海峡两岸科技论坛共同建议”，推动建立海峡两岸科技合作机制，加强海峡两岸科技产业合作基地、对台科技合作与交流基地、海峡两岸科技园的建设。

十、深化科技体制改革，全面推进国家创新体系建设

加强科技体制改革的统筹规划和系统推进，在促进全社会科技资源高效配置和综合集成、加快科技成果向现实生产力转化、激发各类创新主体的活力等方面取得突破性进展，全面推进国家创新体系建设。

（一）加强科技宏观管理和统筹协调

强化国家对科技发展的总体部署和宏观管理，完善科技、经济协同推进机制，为创新要素的合理流动提供体制机制保障。加强财政投入对全社会科技资源优化配置的引导功能。统筹衔接科技发展战略政策制定、科技计划组织实施和科技基础设施建设。进一步完善部门之间、中央与地方之间的科技工作会商沟通机制，汇聚各方资源共同解决科技发展重大问题。加快转变政府职能，强化科技公共服务。进一步完善专家决策咨询机制和公众参与机制，促进决策的科学化和民主化。

（二）创新产学研有机结合机制

充分发挥市场机制配置资源的基础性作用，不断发展和完善产学研有机结合推动自主创新的机制。发挥企业面向市场和用户的优势，通过委托研发、联合研究、人才培养、共建研究机构等形式，建立与科研机构和高等学校合作创新的战略伙伴关系。坚持政府投入引导与政策措施激励并举，进一步增强科研机构、高等学校面向社会的创新服务功能，激发科技人员服务企业的积极性。进一步加大对产学研联合创新的支持，完善相应的组织方式和组织流程，发挥产业技术创新战略联盟组织承担科技计划项目的作用。

（三）推进科技计划和科研经费管理制度改革

把深化科技计划和科研经费管理制度改革作为科技管理体制改革的突破口。国家重点科技计划进一步突出服务国家目标导向、聚焦重大任务的功能。加强各科技计划围绕创新链、产业链发展的系统部署，优化顶层设计和组织流程，实现资源配置的高效集成和项目、基地、人才的有机结合。财政科技投入进一步加大

对基础研究、前沿技术研究、社会公益研究和重大关键共性技术的支持，加大科技成果转化的投入力度，处理好稳定性支持与竞争性支持的关系。根据科研活动的规律和特点，加强科研经费的过程监管，改进科研经费使用的绩效评价，提高科研经费管理的科学化水平。

（四）深化科技评价和奖励制度改革

按照“目标导向、分类实施、客观公正、注重实效”的要求，加强科学技术评价工作的宏观管理、统筹协调和监督检查，建立健全科学技术评价制度。针对科技计划、机构、人员等不同对象，国家、部门、地方等不同层次，基础研究、应用研究、科技产业化等不同类型科技活动的特点，确定不同的评价指标、内容和标准。坚持科研评价的创新和质量导向，避免频繁考核、过度量化，使科研人员专注于科研活动。继续开展科技成果评价试点工作，推动科学技术研究项目的标准化评价。发展第三方独立评估制度，指导和支持社会专业评价机构开展科技评价。

进一步完善科技奖励制度，充分发挥科技奖励在引导科技发展方向和创新模式、激励和表彰科技创新人才、促进社会进步和国家发展中的重要作用。加强科研诚信建设，积极营造诚信、宽松、和谐的科研学术环境，加强科技人员学术行为规范、职业道德监督和对学术不端行为的调查、惩戒。

（五）全面推进国家创新体系建设

进一步加强各类创新主体的紧密联系和有效互动，努力建设符合社会主义市场经济要求和科技发展规律的国家创新体系。

1. 深入实施国家技术创新工程，加快以企业为主体、市场为导向、产学研相结合的技术创新体系建设

以提升企业自主创新能力和产业核心竞争力为目标，以建立企业主导技术研发创新的体制机制为核心，积极引导和支持创新要素向企业集聚。围绕重点产业、战略性新兴产业以及地方支柱产业和产业集群发展，推进产业技术创新战略联盟建设，构建产业技术创新链。推动技术创新服务平台建设，形成促进企业技术创新的支持服务系统，加强面向重点产业和区域创新的公共科技服务。加快创新型企业建设，充分发挥市场作用和政府宏观引导，激励大企业加大研发投入，支持企业建立研发机构、吸引高端人才，加快发展具有高成长性与特色优势的创新型中小企业。深入开展科技人员服务企业行动。深化转制院所企业化发展，依托转制院所加强产业共性技术研发和科技成果转化。

专栏 4　国家技术创新工程

国家技术创新工程。结合国家重点产业和战略性新兴产业发展，构建一批支撑经济结构战略性调整的产业技术创新战略联盟，建设完善一批面向企业的技术创新服务平台，培育形成一批具有较强国际竞争力的创新型企业，强化企业技术创新人才队伍和创新团队建设，面向企业开放高等学校和科研院所科技资源，引导企业充分利用国际科技资源。形成和完善以企业为主体、市场为导向、产学研相结合的技术创新体系，大幅提升企业自主创新能力，保障关键领域和重点行业的核心关键技术供给，推动企业成为技术创新主体，加速科技成果向现实生产力转化，促进科技与经济更加紧密结合。

2. 强化高水平科研院所和研究型大学建设，加快建立科学研究与高等教育有机结合的知识创新体系

深入实施知识创新工程，实施“创新 2020”，推进高校创新，推动高水平研究机构和研究型大学建设，培育一批世界一流学科。稳定支持从事基础研究、前沿技术研究、产业关键共性技术研究和社会公益研究的科研机构。深化科研机构改革，扩大科研机构自主权，加快建立现代科研院所制度。增强高等学校创新活力，充分发挥高等学校在知识创新中的重要作用。在高等学校开展探索科技与教育相结合、强化基础研究的改革试点。引导高等学校、科研院所开展科研管理改革和人才培养模式创新。培育跨学科、跨领域的科研与教学相结合的团队，促进科研与教学互动、与创新人才培养相结合。支持高等学校、科研院所、企业共建研发机构、开展联合研究和人员互聘兼职，探索研究集群、虚拟实验室等新型科研组织形式。

专栏 5　知识创新工程

知识创新工程。强化战略领域的知识基础积累与建设，优化学科布局，完善学科体系建设，促进学科交叉融合，解决重大战略性科技问题，建设凝聚态物理、数学与复杂系统、地球与环境、空间及海洋等科学中心，建设清洁能源、绿色智能制造、大陆及海洋深部勘探技术等研发基地，力争使材料、化学、物理学、数学、地球科学、天文学、生命科学等主流学科进入世界先进行列，建设一批在世界上有重要影响的一流科研机构和研究型大学。

3. 引导构建军民融合、寓军于民的国防科技创新体系

大力推进军民结合的科研设备共享平台的布局和建设，加强军地科技资源开放共享和军民两用技术相互转移。建设一批军民融合科技园区、军民两用技术创新基地，扩大军民结合的国家重点实验室建设范围，加强军民两用技术联合攻关。扩大民口科研机构和科技型企业对军用技术研发的承接范围和承接力度。

4. 推进各具特色、优势互补的区域创新体系建设

根据国家区域发展战略的总体部署，结合区域经济社会发展需求和科技基础，加强区域创新体系建设。鼓励东部地区提高原始创新能力和可持续发展能力，着力培育产业竞争新优势，加快发展战略性新兴产业、现代服务业和先进制造业。促进中部地区发展现代产业体系，强化节能减排技术支撑和先进适用技术推广，提高资源利用效率和循环经济发展水平。深入实施西部大开发战略和振兴东北老工业基地战略，引导科技资源向欠发达地区流动，加大科技援疆、援藏和支援其他民族地区力度，加强西部能源资源开发、生态环境保护和修复。围绕解决区域发展重大、共性问题，推动跨区域协同创新。引导和推进创新型省份、创新型城市（区）建设，充分发挥中心城市、科技园区在区域创新中的辐射带动作用。加大对自主创新示范区、试验区的支持力度，加强政策创新和经验总结推广。加强区域创新资源集聚和创新基础能力建设，围绕地方优势特色组建重点实验室和创新基地。

5. 构建社会化、网络化的科技中介服务体系

优化科技中介服务组织布局，完善科技中介服务体系。加强高水平科技中介服务机构建设与示范，提高生产力促进中心、大学科技园、科技企业孵化器、技术市场、技术转移机构等科技中介组织的服务功能和服务水平。建立和发展技术转移服务联盟，促进科技中介服务机构资源共享，加大对学会等科技社团的培育力度。

十一、强化科技政策落实和制定，优化全社会创新环境

进一步加强科技政策法规的落实，加强创新政策措施的衔接配套，进一步营造有利于科技进步和创新的环境。

（一）落实和完善科技政策法规

加强科技法律法规体系建设。深入落实《科学技术进步法》，加快配套法规建设。推进《促进科技成果转化法》修订。加强科技资源共享、科研机构、科技中介等方面政策法规的研究制定。强化科技法律法规的执法检查和公众监督。加强科技法律法规的普法宣传。

落实和完善自主创新政策措施。深入落实《科技规划纲要》中的有关政策及其配套政策措施。落实企业研发费用加计扣除、科技企业孵化器、国家大学科技园、高新技术企业和技术先进型服务企业以及对科技中介服务活动的税收扶持政策。加强自主创新政策落实情况的监测评估。完善有关鼓励产学研合作创新、科

技成果转化和产业化、科技型中小企业创新创业的政策措施。强化科技政策与财税、金融、产业政策等的衔接配套。制定完善更加有利于研发创新的财政性科研投入所得税征收规定。

（二）深入实施知识产权和技术标准战略

强化科技创新的知识产权目标导向和管理。深化《国家知识产权战略纲要》实施，提升知识产权创造、运用、保护和管理能力。鼓励创新主体从事知识产权创造活动，取得以发明专利为代表的核心技术知识产权，支持通过专利合作条约（PCT）申请国际专利。引导企业采取知识产权转让、许可、质押等方式实现知识产权的市场价值。强化国家科技重大专项和国家科技计划的成果和知识产权管理，建立健全对跨国并购、技术交易等重大经济活动的知识产权审查机制。加强国家重大关键技术领域专利态势分析和预警，引导重点领域形成基础性专利。强化核心技术知识产权保护，加强科技成果登记。推动知识产权管理能力建设，加强知识产权管理人才队伍建设，完善知识产权公共服务体系。

全面实施国家技术标准战略。发挥技术标准在科技创新活动中的导向和保障作用，强化国家重要技术标准包括关键共性和基础类、公益类、重大战略产品类技术标准等的研究、制定及优先采用。在国家科技重大专项和国家科技计划执行中，加强技术标准研制。发挥企业在技术标准研制中的重要作用，引导产学研各方联合推进重要技术标准的研究、制定和采用，支持企业以产业链为纽带形成标准联盟。搭建标准创制公共服务平台，支持企业主导或参与国际技术标准制定。重视技术标准战略与知识产权战略的结合，在技术标准制定中强化知识产权的反垄断审查。加强认证认可技术研究和检测评价技术研究。加强技术性贸易措施体系建设。

（三）持续增加全社会科技投入

继续加大财政科技投入。落实《科学技术进步法》，国家财政科技投入增长幅度，应当高于国家财政经常性收入的增长幅度。落实中央财政科技经费的稳定增长机制，有效带动和促进地方财政加大科技投入。

创新科技投入方式。完善多元化、多渠道科技投入体系，激励企业大幅增加研发投入，促进全社会资金更多投向科技创新。完善科技和金融结合机制，建立多渠道科技融资体系。加快发展服务科技创新的新型金融服务机构，积极探索支持科技创新的融资方式。支持具备条件的国家高新区内非上市股份公司进入代办系统，支持符合条件的高新技术企业上市融资，推动科技型中小企业通过债券市

场融资。加快发展创业投资，引导社会资金加大对科技创新的投入。深化科技保险工作，加快发展科技担保等金融中介服务。促进科技型企业信用体系的建立。

（四）优化科技成果转化和产业化环境

把握科技成果转化和产业化规律，把科研攻关与市场开发紧密结合，推动技术与资本等要素的结合，引导资本市场和社会投资更加重视投向科技成果转化和产业化。加强各类高新技术产业化载体建设，增强高新区、产业化基地、大学科技园、科技企业孵化器等的服务功能，完善从企业创业孵化到产业化的全链条支撑服务体系。充分发挥国家自主创新示范区在促进高新技术产业发展中的示范引领作用。深化国家高新区二次创业，推动符合条件的省级高新区升级为国家高新区，优化国家高新区战略布局。

优化我国创新创业服务、专业技术服务和国际化服务的市场环境。加强多层次、多渠道、多元化的科技与市场对接平台和技术交易市场建设。促进高等学校、科研院所科技成果与企业特别是中小企业技术创新需求的有效对接。发展一支高水平的科技中介专业队伍。积极开展科技成果咨询、评估、经纪、推介、交易等工作。

（五）加强科学技术普及工作

深入落实《科学技术普及法》，研究制定实施条例及相关配套政策，制定实施《中国公民科学素质基准》。深入实施全民科学素质行动，动员多方力量参与科普工作，推动形成社会化科普工作格局。激励一线科研人员参与科普工作，开展院士科普行、博士科普行等活动。加强国家科普能力建设，实施《科普基础设施发展规划》，推进科技博物馆建设，启动国家科普示范基地建设。加大科普宣传力度，继续组织好科技活动周等重大科普活动。加强农村基层科普队伍和科普能力建设。加强科普人才队伍建设，建立健全国家科学传播体系的评价机制与奖励制度。建立国家科普统计制度，开展科普监测工作。广泛开展面向基层的科普活动，在全社会营造尊重劳动、尊重知识、尊重人才、尊重创造的浓厚氛围。

（六）加强和改进基层科技工作

强化对基层科技工作的指导和支持。坚持“地方党政一把手抓第一生产力”，高度重视发挥基层科技管理部门作用，加强机构编制和队伍能力建设，提升基层科技管理部门服务本地经济社会发展的能力。加快实施基层科技创新能力建设和县市民生科技专项，充分发挥农转资金、富民强县专项、创新基金等对基层科技创新的扶持作用，扩大和深化科技特派员制度建设。继续推动科技兴县

（市）工作，加大全国科技进步考核工作的力度。

加强基层科研组织的能力建设。引导科研院所、高等学校、企业、各类创新基地等基层科研组织完善科技管理体系。加强科技管理人员培训，提高科技管理能力和业务素质。

十二、切实保障规划实施

为有力推进规划顺利实施，必须周密部署，落实责任，强化监督，形成规划实施的强大合力与制度保障。

（一）加强规划实施的组织领导

国家科技主管部门牵头组织实施本规划。各地方、各部门要依据本规划，结合各自实际，突出各自特色，强化本地方、本部门科技发展部署，做好与本规划提出的战略思路和主要目标的衔接，加强重大事项的会商和协调，做好重大任务的分解和落实。各级科技管理部门要加强对科技规划的贯彻宣传，做好协调服务和实施指导，调动和增强社会各方面参与的主动性、积极性。

（二）加强规划实施的衔接协调

在规划实施中，要注重国家中长期科技、人才、教育规划纲要的统筹落实，加强与贯彻实施《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》的衔接部署，重视与各项国家级重点专项规划以及各地方经济社会发展规划的协调。强化规划对年度计划执行和重大项目安排的统筹指导，确保规划提出的各项任务落到实处。

（三）加强规划评估和动态调整

建立健全科技规划监测评估制度和动态调整机制。要通过监测评估，分析本规划的实施进展情况。特别是对本规划提出的重大任务的执行情况要进行制度化、规范化的检查评估，为科技规划的动态调整提供依据。

（四）加强科技管理的基础性工作

重视开展科技发展战略研究，加强技术预测和技术路线图工作，强化科技统计评估、科技成果登记和科技保密工作，加大科技宣传力度，提高科技信息服务能力，为科技战略决策和管理提供有力支撑。

本规划是深入实施《科技规划纲要》、加强创新型国家建设战略攻坚的五年规划，任务艰巨，责任重大。全国科技界、经济界、企业界等社会各界要在党中央、国务院的坚强领导下，坚定信心，奋发图强，开拓创新，为顺利实现国家“十二五”科学和技术发展规划各项目标任务、加快创新型国家建设进程而努力奋斗！

附录J　国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定（摘编）

国发〔2010〕32号

中华人民共和国国务院

二〇一〇年十月十日

各省、自治区、直辖市人民政府，国务院各部委、各直属机构：

战略性新兴产业是引导未来经济社会发展的重要力量。发展战略性新兴产业已成为世界主要国家抢占新一轮经济和科技发展制高点的重大战略。我国正处在全面建设小康社会的关键时期，必须按照科学发展观的要求，抓住机遇，明确方向，突出重点，加快培育和发展战略性新兴产业。现作出如下决定：

一、抓住机遇，加快培育和发展战略性新兴产业

战略性新兴产业是以重大技术突破和重大发展需求为基础，对经济社会全局和长远发展具有重大引领带动作用，知识技术密集、物质资源消耗少、成长潜力大、综合效益好的产业。加快培育和发展战略性新兴产业对推进我国现代化建设具有重要战略意义。

（一）加快培育和发展战略性新兴产业是全面建设小康社会、实现可持续发展的必然选择。我国人口众多、人均资源少、生态环境脆弱，又处在工业化、城镇化快速发展时期，面临改善民生的艰巨任务和资源环境的巨大压力。要全面建设小康社会、实现可持续发展，必须大力发展战略性新兴产业，加快形成新的经济增长点，创造更多的就业岗位，更好地满足人民群众日益增长的物质文化需求，促进资源节约型和环境友好型社会建设。

（二）加快培育和发展战略性新兴产业是推进产业结构升级、加快经济发展方式转变的重大举措。战略性新兴产业以创新为主要驱动力，辐射带动力强，加快培育和发展战略性新兴产业，有利于加快经济发展方式转变，有利于提升产业

层次、推动传统产业升级、高起点建设现代产业体系，体现了调整优化产业结构的根本要求。

（三）加快培育和发展战略性新兴产业是构建国际竞争新优势、掌握发展主动权的迫切需要。当前，全球经济竞争格局正在发生深刻变革，科技发展正孕育着新的革命性突破，世界主要国家纷纷加快部署，推动节能环保、新能源、信息、生物等新兴产业快速发展。我国要在未来国际竞争中占据有利地位，必须加快培育和发展战略性新兴产业，掌握关键核心技术及相关知识产权，增强自主发展能力。

加快培育和发展战略性新兴产业具备诸多有利条件，也面临严峻挑战。经过改革开放30多年的快速发展，我国综合国力明显增强，科技水平不断提高，建立了较为完备的产业体系，特别是高技术产业快速发展，规模跻身世界前列，为战略性新兴产业加快发展奠定了较好的基础。同时，也面临着企业技术创新能力不强，掌握的关键核心技术少，有利于新技术新产品进入市场的政策法规体系不健全，支持创新创业的投融资和财税政策、体制机制不完善等突出问题。必须充分认识加快培育和发展战略性新兴产业的重大意义，进一步增强紧迫感和责任感，抓住历史机遇，加大工作力度，加快培育和发展战略性新兴产业。

二、坚持创新发展，将战略性新兴产业加快培育成为先导产业和支柱产业

根据战略性新兴产业的特征，立足我国国情和科技、产业基础，现阶段重点培育和发展节能环保、新一代信息技术、生物、高端装备制造、新能源、新材料、新能源汽车等产业。

（一）指导思想

以邓小平理论和“三个代表”重要思想为指导，深入贯彻落实科学发展观，把握世界新科技革命和产业革命的历史机遇，面向经济社会发展的重大需求，把加快培育和发展战略性新兴产业放在推进产业结构升级和经济发展方式转变的突出位置。积极探索战略性新兴产业发展规律，发挥企业主体作用，加大政策扶持力度，深化体制机制改革，着力营造良好环境，强化科技创新成果产业化，抢占经济和科技竞争制高点，推动战略性新兴产业快速健康发展，为促进经济社会可持续发展作出贡献。

（二）基本原则

坚持充分发挥市场的基础性作用与政府引导推动相结合。要充分发挥我国市

场需求巨大的优势，创新和转变消费模式，营造良好的市场环境，调动企业主体的积极性，推进产学研用结合。同时，对关系经济社会发展全局的重要领域和关键环节，要发挥政府的规划引导、政策激励和组织协调作用。

坚持科技创新与实现产业化相结合。要切实完善体制机制，大幅度提升自主创新能力，着力推进原始创新，大力增强集成创新和联合攻关，积极参与国际分工合作，加强引进消化吸收再创新，充分利用全球创新资源，突破一批关键核心技术，掌握相关知识产权。同时，要加大政策支持和协调指导力度，造就并充分发挥高素质人才队伍的作用，加速创新成果转化，促进产业化进程。

坚持整体推进与重点领域跨越发展相结合。要对发展战略性新兴产业进行统筹规划、系统布局，明确发展时序，促进协调发展。同时，要选择最有基础和条件的领域作为突破口，重点推进。大力培育产业集群，促进优势区域率先发展。

坚持提升国民经济长远竞争力与支撑当前发展相结合。要着眼长远，把握科技和产业发展新方向，对重大前沿性领域及早部署，积极培育先导产业。同时，要立足当前，推进对缓解经济社会发展瓶颈制约具有重大作用的相关产业较快发展，推动高技术产业健康发展，带动传统产业转型升级，加快形成支柱产业。

（三）发展目标

到2015年，战略性新兴产业形成健康发展、协调推进的基本格局，对产业结构升级的推动作用显著增强，增加值占国内生产总值的比重力争达到8%左右。

到2020年，战略性新兴产业增加值占国内生产总值的比重力争达到15%左右，吸纳、带动就业能力显著提高。节能环保、新一代信息技术、生物、高端装备制造产业成为国民经济的支柱产业，新能源、新材料、新能源汽车产业成为国民经济的先导产业；创新能力大幅提升，掌握一批关键核心技术，在局部领域达到世界领先水平；形成一批具有国际影响力的大企业和一批创新活力旺盛的中小企业；建成一批产业链完善、创新能力强、特色鲜明的战略性新兴产业集聚区。

再经过十年左右的努力，战略性新兴产业的整体创新能力和产业发展水平达到世界先进水平，为经济社会可持续发展提供强有力的支撑。

三、立足国情，努力实现重点领域快速健康发展

根据战略性新兴产业的发展阶段和特点，要进一步明确发展的重点方向和主要任务，统筹部署，集中力量，加快推进。

（一）节能环保产业。重点开发推广高效节能技术装备及产品，实现重点领域关键技术突破，带动能效整体水平的提高。加快资源循环利用关键共性技术研发和产业化示范，提高资源综合利用水平和再制造产业化水平。示范推广先进环保技术装备及产品，提升污染防治水平。推进市场化节能环保服务体系建设。加快建立以先进技术为支撑的废旧商品回收利用体系，积极推进煤炭清洁利用、海水综合利用。

（二）新一代信息技术产业

（三）生物产业

（四）高端装备制造产业。重点发展以干支线飞机和通用飞机为主的航空装备，做大做强航空产业。积极推进空间基础设施建设，促进卫星及其应用产业发展。依托客运专线和城市轨道交通等重点工程建设，大力发展轨道交通装备。面向海洋资源开发，大力发展海洋工程装备。强化基础配套能力，积极发展以数字化、柔性化及系统集成技术为核心的智能制造装备。

（五）新能源产业。积极研发新一代核能技术和先进反应堆，发展核能产业。加快太阳能热利用技术推广应用，开拓多元化的太阳能光伏光热发电市场。提高风电技术装备水平，有序推进风电规模化发展，加快适应新能源发展的智能电网及运行体系建设。因地制宜开发利用生物质能。

（六）新材料产业

（七）新能源汽车产业。着力突破动力电池、驱动电机和电子控制领域关键核心技术，推进插电式混合动力汽车、纯电动汽车推广应用和产业化。同时，开展燃料电池汽车相关前沿技术研发，大力推进高能效、低排放节能汽车发展。

四、强化科技创新，提升产业核心竞争力

增强自主创新能力是培育和发展战略性新兴产业的中心环节，必须完善以企业为主体、市场为导向、产学研相结合的技术创新体系，发挥国家科技重大专项的核心引领作用，结合实施产业发展规划，突破关键核心技术，加强创新成果产业化，提升产业核心竞争力。

（一）加强产业关键核心技术和前沿技术研究。围绕经济社会发展重大需求，结合国家科技计划、知识创新工程和自然科学基金项目等的实施，集中力量突破一批支撑战略性新兴产业发展的关键共性技术。在生物、信息、空天、海洋、地球深部等基础性、前沿性技术领域超前部署，加强交叉领域的技术和产品研发，提高基础技术研究水平。

（二）强化企业技术创新能力建设。加大企业研究开发的投入力度，对面向应用、具有明确市场前景的政府科技计划项目，建立由骨干企业牵头组织、科研机构和高校共同参与实施的有效机制。依托骨干企业，围绕关键核心技术的研发和系统集成，支持建设若干具有世界先进水平的工程化平台，结合技术创新工程的实施，发展一批由企业主导，科研机构、高校积极参与的产业技术创新联盟。加强财税政策引导，激励企业增加研发投入。加强产业集聚区公共技术服务平台建设，促进中小企业创新发展。

（三）加快落实人才强国战略和知识产权战略。建立科研机构、高校创新人才向企业流动的机制，加大高技能人才队伍建设力度。加快完善期权、技术入股、股权、分红权等多种形式的激励机制，鼓励科研机构和高校科技人员积极从事职务发明创造。加大工作力度，吸引全球优秀人才来华创新创业。发挥研究型大学的支撑和引领作用，加强战略性新兴产业相关专业学科建设，增加急需的专业学位类别。改革人才培养模式，制定鼓励企业参与人才培养的政策，建立企校联合培养人才的新机制，促进创新型、应用型、复合型和技能型人才的培养。支持知识产权的创造和运用，强化知识产权的保护和管理，鼓励企业建立专利联盟。完善高校和科研机构知识产权转移转化的利益保障和实现机制，建立高效的知识产权评估交易机制。加大对具有重大社会效益创新成果的奖励力度。

（四）实施重大产业创新发展工程。以加速产业规模化发展为目标，选择具有引领带动作用，并能够实现突破的重点方向，依托优势企业，统筹技术开发、工程化、标准制定、市场应用等环节，组织实施若干重大产业创新发展工程，推动要素整合和技术集成，努力实现重大突破。

（五）建设产业创新支撑体系。发挥知识密集型服务业支撑作用，大力发展研发服务、信息服务、创业服务、技术交易、知识产权和科技成果转化等高技术服务业，着力培育新业态。积极发展人力资源服务、投资和管理咨询等商务服务业，加快发展现代物流和环境服务业。

（六）推进重大科技成果产业化和产业集聚发展。完善科技成果产业化机制，加大实施产业化示范工程力度，积极推进重大装备应用，建立健全科研机构、高校的创新成果发布制度和技术转移机构，促进技术转移和扩散，加速科技成果转化为现实生产力。依托具有优势的产业集聚区，培育一批创新能力强、创业环境好、特色突出、集聚发展的战略性新兴产业示范基地，形成增长极，辐射带动区域经济发展。

五、积极培育市场，营造良好市场环境

要充分发挥市场的基础性作用，充分调动企业积极性，加强基础设施建设，积极培育市场，规范市场秩序，为各类企业健康发展创造公平、良好的环境。

（一）组织实施重大应用示范工程。坚持以应用促发展，围绕提高人民群众健康水平、缓解环境资源制约等紧迫需求，选择处于产业化初期、社会效益显著、市场机制难以有效发挥作用的重大技术和产品，统筹衔接现有试验示范工程，组织实施全民健康、绿色发展、智能制造、材料换代、信息惠民等重大应用示范工程，引导消费模式转变，培育市场，拉动产业发展。

（二）支持市场拓展和商业模式创新。鼓励绿色消费、循环消费、信息消费，创新消费模式，促进消费结构升级。扩大终端用能产品能效标识实施范围。加强新能源并网及储能、支线航空与通用航空、新能源汽车等领域的市场配套基础设施建设。在物联网、节能环保服务、新能源应用、信息服务、新能源汽车推广等领域，支持企业大力发展有利于扩大市场需求的专业服务、增值服务等新业态。积极推行合同能源管理、现代废旧商品回收利用等新型商业模式。

（三）完善标准体系和市场准入制度。加快建立有利于战略性新兴产业发展的行业标准和重要产品技术标准体系，优化市场准入的审批管理程序。进一步健全药品注册管理的体制机制，完善药品集中采购制度，支持临床必需、疗效确切、安全性高、价格合理的创新药物优先进入医保目录。完善新能源汽车的项目和产品准入标准。改善转基因农产品的管理。完善并严格执行节能环保法规标准。

六、深化国际合作，提高国际化发展水平

要通过深化国际合作，尽快掌握关键核心技术，提升我国自主发展能力与核心竞争力。把握经济全球化的新特点，深度开展国际合作与交流，积极探索合作新模式，在更高层次上参与国际合作。

（一）大力推进国际科技合作与交流。发挥各种合作机制的作用，多层次、多渠道、多方式推进国际科技合作与交流。鼓励境外企业和科研机构在我国设立研发机构，支持符合条件的外商投资企业与内资企业、研究机构合作申请国家科研项目。支持我国企业和研发机构积极开展全球研发服务外包，在境外开展联合研发和设立研发机构，在国外申请专利。鼓励我国企业和研发机构参与国际标准的制定，鼓励外商投资企业参与我国技术示范应用项目，共同形成国际标准。

（二）切实提高国际投融资合作的质量和水平。完善外商投资产业指导目录，

鼓励外商设立创业投资企业，引导外资投向战略性新兴产业。支持有条件的企业开展境外投资，在境外以发行股票和债券等多种方式融资。扩大企业境外投资自主权，改进审批程序，进一步加大对企业境外投资的外汇支持。积极探索在海外建设科技和产业园区。制定国别产业导向目录，为企业开展跨国投资提供指导。

（三）大力支持企业跨国经营。完善出口信贷、保险等政策，结合对外援助等积极支持战略性新兴产业领域的重点产品、技术和服务开拓国际市场，以及自主知识产权技术标准在海外推广应用。支持企业通过境外注册商标、境外收购等方式，培育国际化品牌。加强企业和产品国际认证合作。

七、加大财税金融政策扶持力度，引导和鼓励社会投入

加快培育和发展战略性新兴产业，必须健全财税金融政策支持体系，加大扶持力度，引导和鼓励社会资金投入。

（一）加大财政支持力度。在整合现有政策资源和资金渠道的基础上，设立战略性新兴产业发展专项资金，建立稳定的财政投入增长机制，增加中央财政投入，创新支持方式，着力支持重大关键技术研发、重大产业创新发展工程、重大创新成果产业化、重大应用示范工程、创新能力建设等。加大政府引导和支持力度，加快高效节能产品、环境标志产品和资源循环利用产品等推广应用。加强财政政策绩效考评，创新财政资金管理机制，提高资金使用效率。

（二）完善税收激励政策。在全面落实现行各项促进科技投入和科技成果转化、支持高技术产业发展等方面税收政策的基础上，结合税制改革方向和税种特征，针对战略性新兴产业的特点，研究完善鼓励创新、引导投资和消费的税收支持政策。

（三）鼓励金融机构加大信贷支持。引导金融机构建立适应战略性新兴产业特点的信贷管理和贷款评审制度。积极推进知识产权质押融资、产业链融资等金融产品创新。加快建立包括财政出资和社会资金投入在内的多层次担保体系。积极发展中小金融机构和新型金融服务。综合运用风险补偿等财政优惠政策，促进金融机构加大支持战略性新兴产业发展的力度。

（四）积极发挥多层次资本市场的融资功能。进一步完善创业板市场制度，支持符合条件的企业上市融资。推进场外证券交易市场的建设，满足处于不同发展阶段创业企业的需求。完善不同层次市场之间的转板机制，逐步实现各层次市场间有机衔接。大力发展债券市场，扩大中小企业集合债券和集合票据发行规

模，积极探索开发低信用等级高收益债券和私募可转债等金融产品，稳步推进企业债券、公司债券、短期融资券和中期票据发展，拓宽企业债务融资渠道。

（五）大力发展创业投资和股权投资基金。建立和完善促进创业投资和股权投资行业健康发展的配套政策体系与监管体系。在风险可控的范围内为保险公司、社保基金、企业年金管理机构和其他机构投资者参与新兴产业创业投资和股权投资基金创造条件。发挥政府新兴产业创业投资资金的引导作用，扩大政府新兴产业创业投资规模，充分运用市场机制，带动社会资金投向战略性新兴产业中处于创业早中期阶段的创新型企业。鼓励民间资本投资战略性新兴产业。

八、推进体制机制创新，加强组织领导

加快培育和发展战略性新兴产业是我国新时期经济社会发展的重大战略任务，必须大力推进改革创新，加强组织领导和统筹协调，为战略性新兴产业发展提供动力和条件。

（一）深化重点领域改革。建立健全创新药物、新能源、资源性产品价格形成机制和税费调节机制。实施新能源配额制，落实新能源发电全额保障性收购制度。加快建立生产者责任延伸制度，建立和完善主要污染物和碳排放交易制度。建立促进三网融合高效有序开展的政策和机制，深化电力体制改革，加快推进空域管理体制改革。

（二）加强宏观规划引导。组织编制国家战略性新兴产业发展规划和相关专项规划，制定战略性新兴产业发展指导目录，开展战略性新兴产业统计监测调查，加强与相关规划和政策的衔接。加强对各地发展战略性新兴产业的引导，优化区域布局、发挥比较优势，形成各具特色、优势互补、结构合理的战略性新兴产业协调发展格局。各地区要根据国家总体部署，从当地实际出发，突出发展重点，避免盲目发展和重复建设。

（三）加强组织协调。成立由发展改革委牵头的战略性新兴产业发展部际协调机制，形成合力，统筹推进。

国务院各有关部门、各省（区、市）人民政府要根据本决定的要求，抓紧制定实施方案和具体落实措施，加大支持力度，加快将战略性新兴产业培育成为先导产业和支柱产业，为我国现代化建设作出新的贡献。

附录 K　国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）（摘编）

中华人民共和国国务院

二〇〇六年二月九日

党的十六大从全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化建设的全局出发，要求制定国家科学和技术长远发展规划，国务院据此制定本纲要。

一、序言

新中国成立特别是改革开放以来，我国社会主义现代化建设取得了举世瞩目的伟大成就。同时，必须清醒地看到，我国正处于并将长期处于社会主义初级阶段。全面建设小康社会，既面临难得的历史机遇，又面临一系列严峻的挑战。经济增长过度依赖能源资源消耗，环境污染严重；经济结构不合理，农业基础薄弱，高技术产业和现代服务业发展滞后；自主创新能力较弱，企业核心竞争力不强，经济效益有待提高。在扩大劳动就业、理顺分配关系、提供健康保障和确保国家安全等方面，有诸多困难和问题亟待解决。从国际上看，我国也将长期面临发达国家在经济、科技等方面占有优势的巨大压力。为了抓住机遇、迎接挑战，我们需要进行多方面的努力，包括统筹全局发展，深化体制改革，健全民主法制，加强社会管理等。与此同时，我们比以往任何时候都更加需要紧紧依靠科技进步和创新，带动生产力质的飞跃，推动经济社会的全面、协调、可持续发展。

科学技术是第一生产力，是先进生产力的集中体现和主要标志。进入 21 世纪，新科技革命迅猛发展，正孕育着新的重大突破，将深刻地改变经济和社会的面貌。信息科学和技术发展方兴未艾，依然是经济持续增长的主导力量；生命科学和生物技术迅猛发展，将为改善和提高人类生活质量发挥关键作用；能源科学和技术重新升温，为解决世界性的能源与环境问题开辟新的途径；纳米科学和技

术新突破接踵而至，将带来深刻的技术革命。基础研究的重大突破，为技术和经济发展展现了新的前景。科学技术应用转化的速度不断加快，造就新的追赶和跨越机会。因此，我们要站在时代的前列，以世界眼光，迎接新科技革命带来的机遇和挑战。纵观全球，许多国家都把强化科技创新作为国家战略，把科技投资作为战略性投资，大幅度增加科技投入，并超前部署和发展前沿技术及战略产业，实施重大科技计划，着力增强国家创新能力和国际竞争力。面对国际新形势，我们必须增强责任感和紧迫感，更加自觉、更加坚定地把科技进步作为经济社会发展的首要推动力量，把提高自主创新能力作为调整经济结构、转变增长方式、提高国家竞争力的中心环节，把建设创新型国家作为面向未来的重大战略选择。

新中国成立 50 多年来，经过几代人艰苦卓绝的持续奋斗，我国科技事业取得了令人鼓舞的巨大成就。以“两弹一星”、载人航天、杂交水稻、陆相成油理论与应用、高性能计算机等为标志的一大批重大科技成就，极大地增强了我国的综合国力，提高了我国的国际地位，振奋了我们的民族精神。同时，还必须认识到，同发达国家相比，我国科学技术总体水平还有较大差距，主要表现为：关键技术自给率低，发明专利数量少；在一些地区特别是中西部农村，技术水平仍比较落后；科学研究质量不够高，优秀拔尖人才比较匮乏；同时，科技投入不足，体制机制还存在不少弊端。目前，我国虽然是一个经济大国，但还不是一个经济强国，一个根本原因就在于创新能力薄弱。

进入 21 世纪，我国作为一个发展中大国，加快科学技术发展、缩小与发达国家的差距，还需要较长时期的艰苦努力，同时也有着诸多有利条件。一是我国经济持续快速增长和社会进步，对科技发展提出巨大需求，也为科技发展奠定了坚实基础。二是我国已经建立起比较完备的学科体系，拥有丰富的人才资源，部分重要领域的研究开发能力已跻身世界先进行列，具备科学技术大发展的基础和能力。三是坚持对外开放，日趋活跃的国际科技交流与合作，使我们能分享新科技革命成果。四是坚持社会主义制度，能够把集中力量办大事的政治优势和发挥市场机制有效配置资源的基础性作用结合起来，为科技事业的繁荣发展提供重要的制度保证。五是中华民族拥有 5000 年的文明史，中华文化博大精深、兼容并蓄，更有利于形成独特的创新文化。只要我们增强民族自信心，贯彻落实科学发展观，深入实施科教兴国战略和人才强国战略，奋起直追、迎头赶上，经过 15 年乃至更长时间坚韧不拔的艰苦奋斗，就一定能够创造出无愧于时代的辉煌科技成就。

二、指导方针、发展目标和总体部署

1. 指导方针

本世纪头20年，是我国经济社会发展的重要战略机遇期，也是科学技术发展的重要战略机遇期。要以邓小平理论、“三个代表”重要思想为指导，贯彻落实科学发展观，全面实施科教兴国战略和人才强国战略，立足国情，以人为本，深化改革，扩大开放，推动我国科技事业的蓬勃发展，为实现全面建设小康社会目标、构建社会主义和谐社会提供强有力的科技支撑。

今后15年，科技工作的指导方针是：自主创新，重点跨越，支撑发展，引领未来。自主创新，就是从增强国家创新能力出发，加强原始创新、集成创新和引进消化吸收再创新。重点跨越，就是坚持有所为、有所不为，选择具有一定基础和优势、关系国计民生和国家安全的关键领域，集中力量、重点突破，实现跨越式发展。支撑发展，就是从现实的紧迫需求出发，着力突破重大关键、共性技术，支撑经济社会的持续协调发展。引领未来，就是着眼长远，超前部署前沿技术和基础研究，创造新的市场需求，培育新兴产业，引领未来经济社会的发展。这一方针是我国半个多世纪科技发展实践经验的概括总结，是面向未来、实现中华民族伟大复兴的重要抉择。

要把提高自主创新能力摆在全部科技工作的突出位置。党和政府历来重视和倡导自主创新。在对外开放条件下推进社会主义现代化建设，必须认真学习和充分借鉴人类一切优秀文明成果。改革开放20多年来，我国引进了大量技术和装备，对提高产业技术水平、促进经济发展起到了重要作用。但是，必须清醒地看到，只引进而不注重技术的消化吸收和再创新，势必削弱自主研究开发的能力，拉大与世界先进水平的差距。事实告诉我们，在关系国民经济命脉和国家安全的关键领域，真正的核心技术是买不来的。我国要在激烈的国际竞争中掌握主动权，就必须提高自主创新能力，在若干重要领域掌握一批核心技术，拥有一批自主知识产权，造就一批具有国际竞争力的企业。总之，必须把提高自主创新能力作为国家战略，贯彻到现代化建设的各个方面，贯彻到各个产业、行业和地区，大幅度提高国家竞争力。

科技人才是提高自主创新能力的关键所在。要把创造良好环境和条件，培养和凝聚各类科技人才特别是优秀拔尖人才，充分调动广大科技人员的积极性和创造性，作为科技工作的首要任务，努力开创人才辈出、人尽其才、才尽其用的良好局面，努力建设一支与经济社会发展和国防建设相适应的规模宏大、

结构合理的高素质科技人才队伍，为我国科学技术发展提供充分的人才支撑和智力保证。

2. 发展目标

到2020年，我国科学技术发展的总体目标是：自主创新能力显著增强，科技促进经济社会发展和保障国家安全的能力显著增强，为全面建设小康社会提供强有力的支撑；基础科学和前沿技术研究综合实力显著增强，取得一批在世界具有重大影响的科学技术成果，进入创新型国家行列，为在本世纪中叶成为世界科技强国奠定基础。

经过15年的努力，在我国科学技术的若干重要方面实现以下目标：一是掌握一批事关国家竞争力的装备制造业和信息产业核心技术，制造业和信息产业技术水平进入世界先进行列。二是农业科技整体实力进入世界前列，促进农业综合生产能力的提高，有效保障国家食物安全。三是能源开发、节能技术和清洁能源技术取得突破，促进能源结构优化，主要工业产品单位能耗指标达到或接近世界先进水平。四是在重点行业和重点城市建立循环经济的技术发展模式，为建设资源节约型和环境友好型社会提供科技支持。五是重大疾病防治水平显著提高，艾滋病、肝炎等重大疾病得到遏制，新药创制和关键医疗器械研制取得突破，具备产业发展的技术能力。六是国防科技基本满足现代武器装备自主研制和信息化建设的需要，为维护国家安全提供保障。七是涌现出一批具有世界水平的科学家和研究团队，在科学发展的主流方向上取得一批具有重大影响的创新成果，信息、生物、材料和航天等领域的前沿技术达到世界先进水平。八是建成若干世界一流的科研院所和大学以及具有国际竞争力的企业研究开发机构，形成比较完善的中国特色国家创新体系。

到2020年，全社会研究开发投入占国内生产总值的比重提高到2.5%以上，力争科技进步贡献率达到60%以上，对外技术依存度降低到30%以下，本国人发明专利年度授权量和国际科学论文被引用数均进入世界前5位。

3. 总体部署

未来15年，我国科学技术发展的总体部署：一是立足于我国国情和需求，确定若干重点领域，突破一批重大关键技术，全面提升科技支撑能力。本纲要确定11个国民经济和社会发展的重点领域，并从中选择任务明确、有可能在近期获得技术突破的68项优先主题进行重点安排。二是瞄准国家目标，实施若干重大专项，实现跨越式发展，填补空白。本纲要共安排16个重大专项。三是应对

未来挑战，超前部署前沿技术和基础研究，提高持续创新能力，引领经济社会发展。本纲要重点安排 8 个技术领域的 27 项前沿技术，18 个基础科学问题，并提出实施 4 个重大科学研究计划。四是深化体制改革，完善政策措施，增加科技投入，加强人才队伍建设，推进国家创新体系建设，为我国进入创新型国家行列提供可靠保障。

根据全面建设小康社会的紧迫需求、世界科技发展趋势和我国国力，必须把握科技发展的战略重点。一是把发展能源、水资源和环境保护技术放在优先位置，下决心解决制约经济社会发展的重大瓶颈问题。二是抓住未来若干年内信息技术更新换代和新材料技术迅猛发展的难得机遇，把获取装备制造业和信息产业核心技术的自主知识产权，作为提高我国产业竞争力的突破口。三是把生物技术作为未来高技术产业迎头赶上的重点，加强生物技术在农业、工业、人口与健康等领域的应用。四是加快发展空天和海洋技术。五是加强基础科学和前沿技术研究，特别是交叉学科的研究。

三、重点领域及其优先主题

我国科学和技术的发展，要在统筹安排、整体推进的基础上，对重点领域及其优先主题进行规划和布局，为解决经济社会发展中的紧迫问题提供全面有力支撑。

重点领域，是指在国民经济、社会发展和国防安全中重点发展、亟待科技提供支撑的产业和行业。优先主题，是指在重点领域中急需发展、任务明确、技术基础较好、近期能够突破的技术群。确定优先主题的原则：一是有利于突破瓶颈制约，提高经济持续发展能力。二是有利于掌握关键技术和共性技术，提高产业的核心竞争力。三是有利于解决重大公益性科技问题，提高公共服务能力。四是有利于发展军民两用技术，提高国家安全保障能力。

1. 能源

能源在国民经济中具有特别重要的战略地位。我国目前能源供需矛盾尖锐，结构不合理；能源利用效率低；一次能源消费以煤为主，化石能的大量消费造成严重的环境污染。今后 15 年，满足持续快速增长的能源需求和能源的清洁高效利用，对能源科技发展提出重大挑战。

发展思路：① 坚持节能优先，降低能耗。攻克主要耗能领域的节能关键技术，积极发展建筑节能技术，大力提高一次能源利用效率和终端用能效率。

② 推进能源结构多元化，增加能源供应。在提高油气开发利用及水电技术水平的同时，大力发展核能技术，形成核电系统技术自主开发能力。风能、太阳能、生物质能等可再生能源技术取得突破并实现规模化应用。③ 促进煤炭的清洁高效利用，降低环境污染。大力发展煤炭清洁、高效、安全开发和利用技术，并力争达到国际先进水平。④ 加强对能源装备引进技术的消化、吸收和再创新。攻克先进煤电、核电等重大装备制造核心技术。⑤ 提高能源区域优化配置的技术能力。重点开发安全可靠的先进电力输配技术，实现大容量、远距离、高效率的电力输配。

优先主题：

（1）工业节能

重点研究开发冶金、化工等流程工业和交通运输业等主要高耗能领域的节能技术与装备，机电产品节能技术，高效节能、长寿命的半导体照明产品，能源梯级综合利用技术。

（2）煤的清洁高效开发利用、液化及多联产

（3）复杂地质油气资源勘探开发利用

（4）可再生能源低成本规模化开发利用

重点研究开发大型风力发电设备，沿海与陆地风电场和西部风能资源密集区建设技术与装备，高性价比太阳光伏电池及利用技术，太阳能热发电技术，太阳能建筑一体化技术，生物质能和地热能等开发利用技术。

（5）超大规模输配电和电网安全保障

2. 水和矿产资源

3. 环境

改善生态与环境是事关经济社会可持续发展和人民生活质量提高的重大问题。我国环境污染严重；生态系统退化加剧；污染物无害化处理能力低；全球环境问题已成为国际社会关注的焦点，亟待提高我国参与全球环境变化的合作能力。在要求整体环境状况有所好转的前提下实现经济的持续快速增长，对环境科技创新提出重大战略需求。

发展思路：① 引导和支撑循环经济发展。大力开发重污染行业清洁生产集成技术，强化废弃物减量化、资源化利用与安全处置，加强发展循环经济的共性技术研究。② 实施区域环境综合治理。开展流域水环境和区域大气环境污染的综合治理、典型生态功能退化区综合整治的技术集成与示范，开发饮用水安

全保障技术以及生态和环境监测与预警技术，大幅度提高改善环境质量的科技支撑能力。③ 促进环保产业发展。重点研究适合我国国情的重大环保装备及仪器设备，加大国产环保产品市场占有率，提高环保装备技术水平。④ 积极参与国际环境合作。加强全球环境公约履约对策与气候变化科学不确定性及其影响研究，开发全球环境变化监测和温室气体减排技术，提升应对环境变化及履约能力。

4. 农业

5. 制造业

制造业是国民经济的主要支柱。我国是世界制造大国，但还不是制造强国；制造技术基础薄弱，创新能力不强；产品以低端为主；制造过程资源、能源消耗大，污染严重。

发展思路：① 提高装备设计、制造和集成能力。以促进企业技术创新为突破口，通过技术攻关，基本实现高档数控机床、工作母机、重大成套技术装备、关键材料与关键零部件的自主设计制造。② 积极发展绿色制造。加快相关技术在材料与产品开发设计、加工制造、销售服务及回收利用等产品全生命周期中的应用，形成高效、节能、环保和可循环的新型制造工艺。制造业资源消耗、环境负荷水平进入国际先进行列。③ 用高新技术改造和提升制造业。大力推进制造业信息化，积极发展基础原材料，大幅度提高产品档次、技术含量和附加值，全面提升制造业整体技术水平。

优先主题：

（26）基础件和通用部件

重点研究开发重大装备所需的关键基础件和通用部件的设计、制造和批量生产的关键技术，开发大型及特殊零部件成形及加工技术、通用部件设计制造技术和高精度检测仪器。

（27）数字化和智能化设计制造

重点研究数字化设计制造集成技术，建立若干行业的产品数字化和智能化设计制造平台。开发面向产品全生命周期的、网络环境下的数字化、智能化创新设计方法及技术，计算机辅助工程分析与工艺设计技术，设计、制造和管理的集成技术。

（28）流程工业的绿色化、自动化及装备

重点研究开发绿色流程制造技术，高效清洁并充分利用资源的工艺、流程和

设备，相应的工艺流程放大技术，基于生态工业概念的系统集成和自动化技术，流程工业需要的传感器、智能化检测控制技术、装备和调控系统。开发大型裂解炉技术、大型蒸汽裂解乙烯生产成套技术及装备，大型化肥生产节能工艺流程与装备。

（29）可循环钢铁流程工艺与装备

重点研究开发以熔融还原和资源优化利用为基础，集产品制造、能源转换和社会废弃物再资源化三大功能于一体的新一代可循环钢铁流程，作为循环经济的典型示范。开发二次资源循环利用技术，冶金过程煤气发电和低热值蒸汽梯级利用技术，高效率、低成本洁净钢生产技术，非粘连煤炼焦技术，大型板材连铸机、连轧机组的集成设计、制造和系统耦合技术等。

（30）大型海洋工程技术与装备

（31）基础原材料

重点研究开发满足国民经济基础产业发展需求的高性能复合材料及大型、超大型复合结构部件的制备技术，高性能工程塑料，轻质高强金属和无机非金属结构材料，高纯材料，稀土材料，石油化工、精细化工及催化、分离材料，轻纺材料及应用技术，具有环保和健康功能的绿色材料。

（32）新一代信息功能材料及器件

（33）军工配套关键材料及工程化

6. 交通运输业

交通运输是国民经济的命脉。当前，我国主要运输装备及核心技术水平与世界先进水平存在较大差距；运输供给能力不足；综合交通体系建设滞后，各种交通方式缺乏综合协调；交通能源消耗与环境污染问题严峻。全面建设小康社会对交通运输提出更高要求，交通科技面临重大战略需求。

发展思路：① 提高飞机、汽车、船舶、轨道交通装备等的自主创新能力。② 以提供顺畅、便捷的人性化交通运输服务为核心，加强统筹规划，发展交通系统信息化和智能化技术，安全高速的交通运输技术，提高运网能力和运输效率，实现交通信息共享和各种交通方式的有效衔接，提升交通运营管理的技术水平，发展综合交通运输。③ 促进交通运输向节能、环保和更加安全的方向发展，交通运输安全保障、资源节约与环境保护等方面的关键技术取得重大突破并得到广泛应用。④ 围绕国家重大交通基础设施建设，突破建设和养护关键技术，提高建设质量，降低全寿命成本。

优先主题：

（34）交通运输基础设施建设与养护技术及装备

重点研究开发轨道交通、跨海湾通道、离岸深水港、大型航空港、大型桥梁和隧道、综合立体交通枢纽、深海油气管线等高难度交通运输基础设施建设和养护关键技术及装备。

（35）高速轨道交通系统

重点研究开发高速轨道交通控制和调速系统、车辆制造、线路建设和系统集成等关键技术，形成系统成套技术。开展工程化运行试验，掌握运行控制、线路建设和系统集成技术。

（36）低能耗与新能源汽车

重点研究开发混合动力汽车、替代燃料汽车和燃料电池汽车整车设计、集成和制造技术，动力系统集成与控制技术，汽车计算平台技术，高效低排放内燃机、燃料电池发动机、动力蓄电池、驱动电机等关键部件技术，新能源汽车实验测试及基础设施技术等。

（37）高效运输技术与装备

重点研究开发重载列车、大马力机车、特种重型车辆、城市轨道交通、大型高技术船舶、大型远洋渔业船舶以及海洋科考船等，低空多用途通用航空飞行器、高黏原油及多相流管道输送系统等新型运载工具。

（38）智能交通管理系统

重点开发综合交通运输信息平台和信息资源共享技术，现代物流技术，城市交通管理系统、汽车智能技术和新一代空中交通管理系统。

（39）交通运输安全与应急保障

重点开发交通事故预防预警、应急处理技术，开发运输工具主动与被动安全技术，交通运输事故再现技术，交通应急反应系统和快速搜救等技术。

7. 信息产业及现代服务业

发展信息产业和现代服务业是推进新型工业化的关键。国民经济与社会信息化和现代服务业的迅猛发展，对信息技术发展提出了更高的要求。

发展思路：① 突破制约信息产业发展的核心技术，掌握集成电路及关键元器件、大型软件、高性能计算、宽带无线移动通信、下一代网络等核心技术，提高自主开发能力和整体技术水平。② 加强信息技术产品的集成创新，提高设计制造水平，重点解决信息技术产品的可扩展性、易用性和低成本问题，培育新技

术和新业务，提高信息产业竞争力。③ 以应用需求为导向，重视和加强集成创新，开发支撑和带动现代服务业发展的技术和关键产品，促进传统产业的改造和技术升级。④ 以发展高可信网络为重点，开发网络信息安全技术及相关产品，建立信息安全技术保障体系，具备防范各种信息安全突发事件的技术能力。

8. 人口与健康

9. 城镇化与城市发展

10. 公共安全

11. 国防

四、重大专项

历史上，我国以“两弹一星”、载人航天、杂交水稻等为代表的若干重大项目的实施，对整体提升综合国力起到了至关重要的作用。美国、欧洲、日本、韩国等都把围绕国家目标组织实施重大专项计划作为提高国家竞争力的重要措施。

本纲要在重点领域中确定一批优先主题的同时，围绕国家目标，进一步突出重点，筛选出若干重大战略产品、关键共性技术或重大工程作为重大专项，充分发挥社会主义制度集中力量办大事的优势和市场机制的作用，力争取得突破，努力实现以科技发展的局部跃升带动生产力的跨越发展，并填补国家战略空白。确定重大专项的基本原则：一是紧密结合经济社会发展的重大需求，培育能形成具有核心自主知识产权、对企业自主创新能力的提高具有重大推动作用的战略性产业；二是突出对产业竞争力整体提升具有全局性影响、带动性强的关键共性技术；三是解决制约经济社会发展的重大瓶颈问题；四是体现军民结合、寓军于民，对保障国家安全和增强综合国力具有重大战略意义；五是切合我国国情，国力能够承受。根据上述原则，围绕发展高新技术产业、促进传统产业升级、解决国民经济发展瓶颈问题、提高人民健康水平和保障国家安全等方面，确定了一批重大专项。重大专项的实施，根据国家发展需要和实施条件的成熟程度，逐项论证启动。同时，根据国家战略需求和发展形势的变化，对重大专项进行动态调整，分步实施。对于以战略产品为目标的重大专项，要充分发挥企业在研究开发和投入中的主体作用，以重大装备的研究开发作为企业技术创新的切入点，更有效地利用市场机制配置科技资源，国家的引导性投入主要用于关键核心技术的攻关。

重大专项是为了实现国家目标，通过核心技术突破和资源集成，在一定时限内完成的重大战略产品、关键共性技术和重大工程，是我国科技发展的重中之

重。《规划纲要》确定了核心电子器件、高端通用芯片及基础软件，极大规模集成电路制造技术及成套工艺，新一代宽带无线移动通信，高档数控机床与基础制造技术，大型油气田及煤层气开发，大型先进压水堆及高温气冷堆核电站，水体污染控制与治理，转基因生物新品种培育，重大新药创制，艾滋病和病毒性肝炎等重大传染病防治，大型飞机，高分辨率对地观测系统，载人航天与探月工程等16个重大专项，涉及信息、生物等战略产业领域，能源资源环境和人民健康等重大紧迫问题，以及军民两用技术和国防技术。

五、前沿技术

前沿技术是指高技术领域中具有前瞻性、先导性和探索性的重大技术，是未来高技术更新换代和新兴产业发展的重要基础，是国家高技术创新能力的综合体现。选择前沿技术的主要原则：一是代表世界高技术前沿的发展方向。二是对国家未来新兴产业的形成和发展具有引领作用。三是有利于产业技术的更新换代，实现跨越发展。四是具备较好的人才队伍和研究开发基础。根据以上原则，要超前部署一批前沿技术，发挥科技引领未来发展的先导作用，提高我国高技术的研究开发能力和产业的国际竞争力。

1. 生物技术

2. 信息技术

信息技术将继续向高性能、低成本、普适计算和智能化等主要方向发展，寻求新的计算与处理方式和物理实现是未来信息技术领域面临的重大挑战。纳米科技、生物技术与认知科学等多学科的交叉融合，将促进基于生物特征的、以图像和自然语言理解为基础的“以人为中心”的信息技术发展，推动多领域的创新。重点研究低成本的自组织网络，个性化的智能机器人和人机交互系统、高柔性免受攻击的数据网络和先进的信息安全系统。

前沿技术：

（6）智能感知技术

重点研究基于生物特征、以自然语言和动态图像的理解为基础的“以人为中心”的智能信息处理和控制技术，中文信息处理；研究生物特征识别、智能交通等相关领域的系统技术。

（7）自组织网络技术

重点研究自组织移动网、自组织计算网、自组织存储网、自组织传感器网等

技术，低成本的实时信息处理系统、多传感信息融合技术、个性化人机交互界面技术，以及高柔性免受攻击的数据网络和先进的信息安全系统；研究自组织智能系统和个人智能系统。

（8）虚拟现实技术

重点研究电子学、心理学、控制学、计算机图形学、数据库设计、实时分布系统和多媒体技术等多学科融合的技术，研究医学、娱乐、艺术与教育、军事及工业制造管理等多个相关领域的虚拟现实技术和系统。

3. 新材料技术

4. 先进制造技术

先进制造技术将向信息化、极限化和绿色化的方向发展，成为未来制造业赖以生存的基础和可持续发展的关键。重点突破极端制造、系统集成和协同技术、智能制造与应用技术、成套装备与系统的设计验证技术、基于高可靠性的大型复杂系统和装备的系统设计技术。

前沿技术：

（12）极端制造技术

极端制造是指在极端条件或环境下，制造极端尺度（特大或特小尺度）或极高功能的器件和功能系统。重点研究微纳机电系统、微纳制造、超精密制造、巨系统制造和强场制造相关的设计、制造工艺和检测技术。

（13）智能服务机器人

智能服务机器人是在非结构环境下为人类提供必要服务的多种高技术集成的智能化装备。以服务机器人和危险作业机器人应用需求为重点，研究设计方法、制造工艺、智能控制和应用系统集成等共性基础技术。

（14）重大产品和重大设施寿命预测技术

重大产品和重大设施寿命预测技术是提高运行可靠性、安全性、可维护性的关键技术。研究零部件材料的成分设计及成形加工的预测控制和优化技术，基于知识的成形制造过程建模与仿真技术，制造过程在线检测与评估技术，零部件寿命预测技术，重大产品、复杂系统和重大设施的可靠性、安全性和寿命预测技术。

5. 先进能源技术

6. 海洋技术

7. 激光技术

8. 空天技术

六、基础研究

基础研究以深刻认识自然现象、揭示自然规律，获取新知识、新原理、新方法和培养高素质创新人才等为基本使命，是高新技术发展的重要源泉，是培育创新人才的摇篮，是建设先进文化的基础，是未来科学和技术发展的内在动力。发展基础研究要坚持服务国家目标与鼓励自由探索相结合，遵循科学发展的规律，重视科学家的探索精神，突出科学的长远价值，稳定支持，超前部署，并根据科学发展的新动向，进行动态调整。本纲要从学科发展、科学前沿问题、面向国家重大战略需求的基础研究、重大科学研究计划四个方面进行部署。

1. 学科发展

根据基础研究厚积薄发、探索性强、进展往往难以预测的特点，对基础学科进行全面布局，突出学科交叉、融合与渗透，培育新的学科生长点。通过长期、深厚的学术研究积累，促进原始创新能力的提升，促进多学科协调发展。

（1）基础学科

重视基本理论和学科建设，全面协调地发展数学、物理学、化学、天文学、地球科学、生物学等基础学科。

（2）交叉学科和新兴学科

基础学科之间、基础学科与应用学科、科学与技术、自然科学与人文社会科学的交叉与融合，往往导致重大科学发现和新兴学科的产生，是科学研究中最活跃的部分之一，要给予高度关注和重点部署。

2. 科学前沿问题

微观与宇观的统一，还原论与整体论的结合，多学科的相互交叉，数学等基础科学向各领域的渗透，先进技术和手段的运用，是当代科学发展前沿的主要特征，孕育着科学上的重大突破，使人类对客观世界的认识不断地超越和深化。遴选科学前沿问题的原则为：对基础科学发展具有带动作用，具有良好基础，能充分体现我国优势与特色，有利于大幅度提升我国基础科学的国际地位。

3. 面向国家重大战略需求的基础研究

以知识为基础的社会对科学发展提出了强烈需求，综合国力的竞争已前移到基础研究，而且愈加激烈。我国作为快速发展中的国家，更要强调基础研究服务于国家目标，通过基础研究解决未来发展中的关键、瓶颈问题。遴选研究方向的原则为：对国家经济社会发展和国家安全具有战略性、全局性和长远性意义；虽暂时还薄弱，但对发展具有关键性作用；能有力带动基础科学和技术科学的结

合，引领未来高新技术发展。

4. 重大科学研究计划

根据世界科学发展趋势和我国重大战略需求，选择能引领未来发展，对科学和技术发展有很强带动作用，可促进我国持续创新能力迅速提高，同时具有优秀创新团队的研究方向，重点部署四项重大科学研究计划。这些方向的突破，可显著提升我国的国际竞争力，大力促进可持续发展，实现重点跨越。

七、科技体制改革与国家创新体系建设

改革开放以来，我国科技体制改革紧紧围绕促进科技与经济结合，以加强科技创新、促进科技成果转化和产业化为目标，以调整结构、转换机制为重点，采取了一系列重大改革措施，取得了重要突破和实质性进展。同时，必须清楚地看到，我国现行科技体制与社会主义市场经济体制以及经济、科技大发展的要求，还存在着诸多不相适应之处。一是企业尚未真正成为技术创新的主体，自主创新能力不强。二是各方面科技力量自成体系、分散重复，整体运行效率不高，社会公益领域科技创新能力尤其薄弱。三是科技宏观管理各自为政，科技资源配置方式、评价制度等不能适应科技发展新形势和政府职能转变的要求。四是激励优秀人才、鼓励创新创业的机制还不完善。这些问题严重制约了国家整体创新能力的提高。

深化科技体制改革的指导思想是：以服务国家目标和调动广大科技人员的积极性和创造性为出发点，以促进全社会科技资源高效配置和综合集成为重点，以建立企业为主体、产学研结合的技术创新体系为突破口，全面推进中国特色国家创新体系建设，大幅度提高国家自主创新能力。

当前和今后一个时期，科技体制改革的重点任务是：

1. 支持鼓励企业成为技术创新主体

市场竞争是技术创新的重要动力，技术创新是企业提高竞争力的根本途径。随着改革开放的深入，我国企业在技术创新中发挥着越来越重要的作用。要进一步创造条件、优化环境、深化改革，切实增强企业技术创新的动力和活力。一要发挥经济、科技政策的导向作用，使企业成为研究开发投入的主体。加快完善统一、开放、竞争、有序的市场经济环境，通过财税、金融等政策，引导企业增加研究开发投入，推动企业特别是大企业建立研究开发机构。依托具有较强研究开发和技术辐射能力的转制科研机构或大企业，集成高等院校、科研院所等相关力

量，组建国家工程实验室和行业工程中心。鼓励企业与高等院校、科研院所建立各类技术创新联合组织，增强技术创新能力。二要改革科技计划支持方式，支持企业承担国家研究开发任务。国家科技计划要更多地反映企业重大科技需求，更多地吸纳企业参与。在具有明确市场应用前景的领域，建立企业牵头组织、高等院校和科研院所共同参与实施的有效机制。三要完善技术转移机制，促进企业的技术集成与应用。建立健全知识产权激励机制和知识产权交易制度。大力发展为企业服务的各类科技中介服务机构，促进企业之间、企业与高等院校和科研院所之间的知识流动和技术转移。国家重点实验室、工程（技术研究）中心要向企业扩大开放。四要加快现代企业制度建设，增强企业技术创新的内在动力。把技术创新能力作为国有企业考核的重要指标，把技术要素参与分配作为高新技术企业产权制度改革的重要内容。坚持应用开发类科研机构企业化转制的方向，深化企业化转制科研机构产权制度等方面的改革，形成完善的管理体制和合理、有效的激励机制，使之在高新技术产业化和行业技术创新中发挥骨干作用。五要营造良好创新环境，扶持中小企业的技术创新活动。中小企业特别是科技型中小企业是富有创新活力但承受创新风险能力较弱的企业群体。要为中小企业创造更为有利的政策环境，在市场准入、反不正当竞争等方面，起草和制定有利于中小企业发展的相关法律、政策；积极发展支持中小企业的科技投融资体系和创业风险投资机制；加快科技中介服务机构建设，为中小企业技术创新提供服务。

2. 深化科研机构改革，建立现代科研院所制度

从事基础研究、前沿技术研究和社会公益研究的科研机构，是我国科技创新的重要力量。建设一支稳定服务于国家目标、献身科技事业的高水平研究队伍，是发展我国科学技术事业的希望所在。经过多年的结构调整和人才分流等改革，我国已经形成了一批精干的科研机构，国家要给予稳定支持。充分发挥这些科研机构的重要作用，必须以提高创新能力为目标，以健全机制为重点，进一步深化管理体制改革，加快建设“职责明确、评价科学、开放有序、管理规范”的现代科研院所制度。一要按照国家赋予的职责定位加强科研机构建设。要切实改变目前部分科研机构职责定位不清、力量分散、创新能力不强的局面，优化资源配置，集中力量形成优势学科领域和研究基地。社会公益类科研机构要发挥行业技术优势，提高科技创新和服务能力，解决社会发展重大科技问题；基础科学、前沿技术科研机构要发挥学科优势，提高研究水平，取得理论创新和技术突破，解决重大科学技术问题。二要建立稳定支持科研机构创新活动的科技投入机制。学

科和队伍建设、重大创新成果是长期持续努力的结果。对从事基础研究、前沿技术研究和社会公益研究的科研机构，国家财政给予相对稳定支持。根据科研机构的不同情况，提高人均事业经费标准，支持需要长期积累的学科建设、基础性工作和队伍建设。三要建立有利于科研机构原始创新的运行机制。自主选题研究对科研机构提高原始创新能力、培养人才队伍非常重要。加强对科研机构开展自主选题研究的支持。完善科研院所长负责制，进一步扩大科研院所在科技经费、人事制度等方面的决策自主权，提高科研机构内部创新活动的协调集成能力。四要建立科研机构整体创新能力评价制度。建立科学合理的综合评价体系，在科研成果质量、人才队伍建设、管理运行机制等方面对科研机构整体创新能力进行综合评价，促进科研机构提高管理水平和创新能力。五要建立科研机构开放合作的有效机制。实行固定人员与流动人员相结合的用人制度。全面实行聘用制和岗位管理，面向全社会公开招聘科研和管理人才。通过建立有效机制，促进科研院所与企业和大学之间多种形式的联合，促进知识流动、人才培养和科技资源共享。

大学是我国培养高层次创新人才的重要基地，是我国基础研究和高技术领域原始创新的主力军之一，是解决国民经济重大科技问题、实现技术转移、成果转化的生力军。加快建设一批高水平大学，特别是一批世界知名的高水平研究型大学，是我国加速科技创新、建设国家创新体系的需要。我国已经形成了一批规模适当、学科综合和人才汇聚的高水平大学，要充分发挥其在科技创新方面的重要作用。积极支持大学在基础研究、前沿技术研究、社会公益研究等领域的原始创新。鼓励、推动大学与企业和科研院所进行全面合作，加大为国家、区域和行业发展服务的力度。加快大学重点学科和科技创新平台建设。培养和汇聚一批具有国际领先水平的学科带头人，建设一支学风优良、富有创新精神和国际竞争力的高校教师队伍。进一步加快大学内部管理体制的改革步伐。优化大学内部的教育结构和科技组织结构，创新运行机制和管理制度，建立科学合理的综合评价体系，建立有利于提高创新人才培养质量和创新能力，人尽其才、人才辈出的运行机制。积极探索建立具有中国特色的现代大学制度。

3. 推进科技管理体制改革

针对当前我国科技宏观管理中存在的突出问题，推进科技管理体制改革，重点是健全国家科技决策机制，努力消除体制机制性障碍，加强部门之间、地方之间、部门与地方之间、军民之间的统筹协调，切实提高整合科技资源、组织重大科技活动的能力。一要建立健全国家科技决策机制。完善国家重大科技决策议事程

序，形成规范的咨询和决策机制。强化国家对科技发展的总体部署和宏观管理，加强对重大科技政策制定、重大科技计划实施和科技基础设施建设的统筹。二要建立健全国家科技宏观协调机制。确立科技政策作为国家公共政策的基础地位，按照有利于促进科技创新、增强自主创新能力的目标，形成国家科技政策与经济政策协调互动的政策体系。建立部门之间统筹配置科技资源的协调机制。加快国家科技行政管理部门职能转变，推进依法行政，提高宏观管理能力和服务水平。改进计划管理方式，充分发挥部门、地方在计划管理和项目实施管理中的作用。三要改革科技评审与评估制度。科技项目的评审要体现公正、公平、公开和鼓励创新的原则，为各类人才特别是青年人才的脱颖而出创造条件。重大项目评审要体现国家目标。完善同行专家评审机制，建立评审专家信用制度，建立国际同行专家参与评议的机制，加强对评审过程的监督，扩大评审活动的公开化程度和被评审人的知情范围。对创新性强的小项目、非共识项目以及学科交叉项目给予特别关注和支持，注重对科技人员和团队素质、能力和研究水平的评价，鼓励原始创新。建立国家重大科技计划、知识创新工程、自然科学基金资助计划等实施情况的独立评估制度。四要改革科技成果评价和奖励制度。要根据科技创新活动的不同特点，按照公开公正、科学规范、精简高效的原则，完善科研评价制度和指标体系，改变评价过多过繁的现象，避免急功近利和短期行为。面向市场的应用研究和试验开发等创新活动，以获得自主知识产权及其对产业竞争力的贡献为评价重点；公益科研活动以满足公众需求和产生的社会效益为评价重点；基础研究和前沿科学探索以科学意义和学术价值为评价重点。建立适应不同性质科技工作的人才评价体系。改革国家科技奖励制度，减少奖励数量和奖励层次，突出政府科技奖励的重点，在实行对项目奖励的同时，注重对人才的奖励。鼓励和规范社会力量设奖。

4. 全面推进中国特色国家创新体系建设

深化科技体制改革的目标是推进和完善国家创新体系建设。国家创新体系是以政府为主导、充分发挥市场配置资源的基础性作用、各类科技创新主体紧密联系和有效互动的社会系统。现阶段，中国特色国家创新体系建设重点：一是建设以企业为主体、产学研结合的技术创新体系，并将其作为全面推进国家创新体系建设的突破口。只有以企业为主体，才能坚持技术创新的市场导向，有效整合产学研的力量，切实增强国家竞争力。只有产学研结合，才能更有效配置科技资源，激发科研机构的创新活力，并使企业获得持续创新的能力。必须在大幅度提高企业自身技术创新能力的同时，建立科研院所与高等院校积极围绕企业技术

创新需求服务、产学研多种形式结合的新机制。二是建设科学研究与高等教育有机结合的知识创新体系。以建立开放、流动、竞争、协作的运行机制为中心，促进科研院所之间、科研院所与高等院校之间的结合和资源集成。加强社会公益科研体系建设。发展研究型大学。努力形成一批高水平的、资源共享的基础科学和前沿技术研究基地。三是建设军民结合、寓军于民的国防科技创新体系。从宏观管理、发展战略和计划、研究开发活动、科技产业化等多个方面，促进军民科技的紧密结合，加强军民两用技术的开发，形成全国优秀科技力量服务国防科技创新、国防科技成果迅速向民用转化的良好格局。四是建设各具特色和优势的区域创新体系。充分结合区域经济和社会发展的特色和优势，统筹规划区域创新体系和创新能力建设。深化地方科技体制改革。促进中央与地方科技力量的有机结合。发挥高等院校、科研院所和国家高新技术产业开发区在区域创新体系中的重要作用，增强科技创新对区域经济社会发展的支撑力度。加强中、西部区域科技发展能力建设。切实加强县（市）等基层科技体系建设。五是建设社会化、网络化的科技中介服务体系。针对科技中介服务行业规模小、功能单一、服务能力薄弱等突出问题，大力培育和发展各类科技中介服务机构。充分发挥高等院校、科研院所和各类社团在科技中介服务中的重要作用。引导科技中介服务机构向专业化、规模化和规范化方向发展。

八、若干重要政策和措施

为确保本纲要各项任务的落实，不仅要解决体制和机制问题，还必须制定和完善更加有效的政策与措施。所有政策和措施都必须有利于增强自主创新能力，有利于激发科技人员的积极性和创造性，有利于充分利用国内外科技资源，有利于科技支撑和引领经济社会的发展。本纲要确定的科技政策和措施，是针对当前主要矛盾和突出问题而制定的，随着形势发展和本纲要实施进展情况，将不断加以丰富和完善。

1. 实施激励企业技术创新的财税政策

鼓励企业增加研究开发投入，增强技术创新能力。加快实施消费型增值税，将企业购置的设备已征税款纳入增值税抵扣范围。在进一步落实国家关于促进技术创新、加速科技成果转化以及设备更新等各项税收优惠政策的基础上，积极鼓励和支持企业开发新产品、新工艺和新技术，加大企业研究开发投入的税前扣除等激励政策的力度，实施促进高新技术企业发展的税收优惠政策。结合企业所得

税和企业财务制度改革，鼓励企业建立技术研究开发专项资金制度。允许企业加速研究开发仪器设备的折旧。对购买先进科学研究仪器和设备给予必要税收扶持政策。加大对企业设立海外研究开发机构的外汇和融资支持力度，提供对外投资便利和优质服务。

全面贯彻落实《中华人民共和国中小企业促进法》，支持创办各种性质的中小企业，充分发挥中小企业技术创新的活力。鼓励和支持中小企业采取联合出资、共同委托等方式进行合作研究开发，对加快创新成果转化给予政策扶持。制定扶持中小企业技术创新的税收优惠政策。

2. 加强对引进技术的消化、吸收和再创新

完善和调整国家产业技术政策，加强对引进技术的消化、吸收和再创新。制定鼓励自主创新、限制盲目重复引进的政策。

通过调整政府投资结构和重点，设立专项资金，用于支持引进技术的消化、吸收和再创新，支持重大技术装备研制和重大产业关键共性技术的研究开发。采取积极政策措施，多渠道增加投入，支持以企业为主体、产学研联合开展引进技术的消化、吸收和再创新。

把国家重大建设工程作为提升自主创新能力的重要载体。通过国家重大建设工程的实施，消化吸收一批先进技术，攻克一批事关国家战略利益的关键技术，研制一批具有自主知识产权的重大装备和关键产品。

3. 实施促进自主创新的政府采购

制定《中华人民共和国政府采购法》实施细则，鼓励和保护自主创新。建立政府采购自主创新产品协调机制。对国内企业开发的具有自主知识产权的重要高新技术装备和产品，政府实施首购政策。对企业采购国产高新技术设备提供政策支持。通过政府采购，支持形成技术标准。

4. 实施知识产权战略和技术标准战略

保护知识产权，维护权利人利益，不仅是我国完善市场经济体制、促进自主创新的需要，也是树立国际信用、开展国际合作的需要。要进一步完善国家知识产权制度，营造尊重和保护知识产权的法治环境，促进全社会知识产权意识和国家知识产权管理水平的提高，加大知识产权保护力度，依法严厉打击侵犯知识产权的各种行为。同时，要建立对企业并购、技术交易等重大经济活动知识产权特别审查机制，避免自主知识产权流失。防止滥用知识产权而对正常的市场竞争机制造成不正当的限制，阻碍科技创新和科技成果的推广应用。将知识产权管理纳

入科技管理全过程，充分利用知识产权制度提高我国科技创新水平。强化科技人员和科技管理人员的知识产权意识，推动企业、科研院所、高等院校重视和加强知识产权管理。充分发挥行业协会在保护知识产权方面的重要作用。建立健全有利于知识产权保护的从业资格制度和社会信用制度。

根据国家战略需求和产业发展要求，以形成自主知识产权为目标，产生一批对经济、社会和科技等发展具有重大意义的发明创造。组织以企业为主体的产学研联合攻关，并在专利申请、标准制定、国际贸易和合作等方面予以支持。

将形成技术标准作为国家科技计划的重要目标。政府主管部门、行业协会等要加强对重要技术标准制定的指导协调，并优先采用。推动技术法规和技术标准体系建设，促使标准制定与科研、开发、设计、制造相结合，保证标准的先进性和效能性。引导产、学、研各方面共同推进国家重要技术标准的研究、制定及优先采用。积极参与国际标准的制定，推动我国技术标准成为国际标准。加强技术性贸易措施体系建设。

5. 实施促进创新创业的金融政策

建立和完善创业风险投资机制，起草和制定促进创业风险投资健康发展的法律法规及相关政策。积极推进创业板市场建设，建立加速科技产业化的多层次资本市场体系。鼓励有条件的高科技企业在国内主板和中小企业板上市。努力为高科技中小企业在海外上市创造便利条件。为高科技创业风险投资企业跨境资金运作创造更加宽松的金融、外汇政策环境。在国家高新技术产业开发区内，开展对未上市高新技术企业股权流通的试点工作。逐步建立技术产权交易市场。探索以政府财政资金为引导，政策性金融、商业性金融资金投入为主的方式，采取积极措施，促进更多资本进入创业风险投资市场。建立全国性的科技创业风险投资行业自律组织。鼓励金融机构对国家重大科技产业化项目、科技成果转化项目等给予优惠的信贷支持，建立健全鼓励中小企业技术创新的知识产权信用担保制度和其他信用担保制度，为中小企业融资创造良好条件。搭建多种形式的科技金融合作平台，政府引导各类金融机构和民间资金参与科技开发。鼓励金融机构改善和加强对高新技术企业，特别是对科技型中小企业的金融服务。鼓励保险公司加大产品和服务创新力度，为科技创新提供全面的风险保障。

6. 加速高新技术产业化和先进适用技术的推广

把推进高新技术产业化作为调整经济结构、转变经济增长方式的一个重点。积极发展对经济增长有突破性重大带动作用的高新技术产业。

优化高新技术产业化环境。继续加强国家高新技术产业开发区等产业化基地建设。制定有利于促进国家高新技术产业开发区发展并带动周边地区发展的政策。构建技术交流与技术交易信息平台，对国家大学科技园、科技企业孵化基地、生产力促进中心、技术转移中心等科技中介服务机构开展的技术开发与服务活动给予政策扶持。

加大对农业技术推广的支持力度。建立面向农村推广先进适用技术的新机制。把农业科技推广成就作为科技奖励的重要内容，建立农业技术推广人员的职业资格认证制度，激励科技人员以多种形式深入农业生产第一线开展技术推广活动。设立农业科技成果转化和推广专项资金，促进农村先进适用技术的推广，支持农村各类人才的技术革新和发明创造。国家对农业科技推广实行分类指导，分类支持，鼓励和支持多种模式的、社会化的农业技术推广组织的发展，建立多元化的农业技术推广体系。

支持面向行业的关键、共性技术的推广应用。制定有效的政策措施，支持产业竞争前技术的研究开发和推广应用，重点加大电子信息、生物、制造业信息化、新材料、环保、节能等关键技术的推广应用，促进传统产业的改造升级。加强技术工程化平台、产业化示范基地和中间试验基地建设。

7. 完善军民结合、寓军于民的机制

加强军民结合的统筹和协调。改革军民分离的科技管理体制，建立军民结合的新的科技管理体制。鼓励军口科研机构承担民用科技任务；国防研究开发工作向民口科研机构和企业开放；扩大军品采购向民口科研机构和企业采购的范围。改革相关管理体制和制度，保障非军工科研企事业单位平等参与军事装备科研和生产的竞争。建立军民结合、军民共用的科技基础条件平台。

建立适应国防科研和军民两用科研活动特点的新机制。统筹部署和协调军民基础研究，加强军民高技术研究开发力量的集成，建立军民有效互动的协作机制，实现军用产品与民用产品研制生产的协调，促进军民科技各环节的有机结合。

8. 扩大国际和地区科技合作与交流

增强国家自主创新能力，必须充分利用对外开放的有利条件，扩大多种形式的国际和地区科技合作与交流。

鼓励科研院所、高等院校与海外研究开发机构建立联合实验室或研究开发中心。支持在双边、多边科技合作协议框架下，实施国际合作项目。建立内地与港、澳、台的科技合作机制，加强沟通与交流。

支持我国企业“走出去”。扩大高新技术及其产品的出口，鼓励和支持企业在海外设立研究开发机构或产业化基地。

积极主动参与国际大科学工程和国际学术组织。支持我国科学家和科研机构参与或牵头组织国际和区域性大科学工程。建立培训制度，提高我国科学家参与国际学术交流的能力，支持我国科学家在重要国际学术组织中担任领导职务。鼓励跨国公司在华设立研究开发机构。提供优惠条件，在我国设立重要的国际学术组织或办事机构。

9. 提高全民族科学文化素质，营造有利于科技创新的社会环境

实施全民科学素质行动计划。以促进人的全面发展为目标，提高全民科学文化素质。在全社会大力弘扬科学精神，宣传科学思想，推广科学方法，普及科学知识。加强农村科普工作，逐步建立提高农民技术和职业技能的培训体系。组织开展多种形式和系统性的校内外科学探索和科学体验活动，加强创新教育，培养青少年创新意识和能力。加强各级干部和公务员的科技培训。

加强国家科普能力建设。合理布局并切实加强科普场馆建设，提高科普场馆运营质量。建立科研院所、大学定期向社会公众开放制度。在科技计划项目实施中加强与公众沟通交流。繁荣科普创作，打造优秀科普品牌。鼓励著名科学家及其他专家学者参与科普创作。制定重大科普作品选题规划，扶持原创性科普作品。在高校设立科技传播专业，加强对科普的基础性理论研究，培养专业化科普人才。

建立科普事业的良性运行机制。加强政府部门、社会团体、大型企业等各方面的优势集成，促进科技界、教育界和大众媒体之间的协作。鼓励经营性科普文化产业发展，放宽民间和海外资金发展科普产业的准入限制，制定优惠政策，形成科普事业的多元化投入机制。推进公益性科普事业体制与机制改革，激发活力，提高服务意识，增强可持续发展能力。

九、科技投入与科技基础条件平台

科技投入和科技基础条件平台，是科技创新的物质基础，是科技持续发展的重要前提和根本保障。今天的科技投入，就是对未来国家竞争力的投资。改革开放以来，我国科技投入不断增长，但与我国科技事业的大发展和全面建设小康社会的重大需求相比，与发达国家和新兴工业化国家相比，我国科技投入的总量和强度仍显不足，投入结构不尽合理，科技基础条件薄弱。当今发达国家和新兴工

业化国家，都把增加科技投入作为提高国家竞争力的战略举措。我国必须审时度势，从增强国家自主创新能力和核心竞争力出发，大幅度增加科技投入，加强科技基础条件平台建设，为完成本纲要提出的各项重大任务提供必要的保障。

1. 建立多元化、多渠道的科技投入体系

充分发挥政府在投入中的引导作用，通过财政直接投入、税收优惠等多种财政投入方式，增强政府投入调动全社会科技资源配置的能力。国家财政投入主要用于支持市场机制不能有效解决的基础研究、前沿技术研究、社会公益研究、重大共性关键技术研究等公共科技活动，并引导企业和全社会的科技投入。中央和地方各级政府要按照《中华人民共和国科学技术进步法》的要求，在编制年初预算和预算执行中的超收分配时，都要体现法定增长的要求，保证科技经费的增长幅度明显高于财政经常性收入的增长幅度，逐步提高国家财政性科技投入占国内生产总值的比例。要结合国家财力情况，统筹安排规划实施所需经费，切实保障重大专项的顺利实施。国家继续加强对重大科技基础设施建设的投入，在中央和地方建设投资中作为重点予以支持。在政府增加科技投入的同时，强化企业科技投入主体的地位。总之，通过多方面的努力，使我国全社会研究开发投入占国内生产总值的比例逐年提高，到 2010 年达到 2%，到 2020 年达到 2.5%以上。

2. 调整和优化投入结构，提高科技经费使用效益

加强对基础研究、前沿技术研究、社会公益研究以及科技基础条件和科学技术普及的支持。合理安排科研机构（基地）正常运转经费、科研项目经费、科技基础条件经费等的比例，加大对基础研究和社会公益类科研机构的稳定投入力度，将科普经费列入同级财政预算，逐步提高科普投入水平。建立和完善适应科学研究规律和科技工作特点的科技经费管理制度，按照国家预算管理的规定，提高财政资金使用的规范性、安全性和有效性。提高国家科技计划管理的公开性、透明度和公正性，逐步建立财政科技经费的预算绩效评价体系，建立健全相应的评估和监督管理机制。

3. 加强科技基础条件平台建设

科技基础条件平台是在信息、网络等技术支撑下，由研究实验基地、大型科学设施和仪器装备、科学数据与信息、自然科技资源等组成，通过有效配置和共享，服务于全社会科技创新的支撑体系。科技基础条件平台建设重点是：

国家研究实验基地。根据国家重大战略需求，在新兴前沿交叉领域和具有我国特色和优势的领域，主要依托国家科研院所和研究型大学，建设若干队伍强、

水平高、学科综合交叉的国家实验室和其他科学研究实验基地。加强国家重点实验室建设，不断提高其运行和管理的整体水平。构建国家野外科学观测研究台站网络体系。

大型科学工程和设施。重视科学仪器与设备对科学研究的作用，加强科学仪器设备及检测技术的自主研究开发。建设若干大型科学工程和基础设施，包括在高性能计算、大型空气动力研究试验和极端条件下进行科学实验等方面的大科学工程或大型基础设施。推进大型科学仪器、设备、设施的共享与建设，逐步形成全国性的共享网络。

科学数据与信息平台。充分利用现代信息技术手段，建设基于科技条件资源信息化的数字科技平台，促进科学数据与文献资源的共享，构建网络科研环境，面向全社会提供服务，推动科学研究手段、方式的变革。

自然科技资源服务平台。建立完备的植物、动物种质资源，微生物菌种和人类遗传资源，以及实验材料，标本、岩矿化石等自然科技资源保护与利用体系。

国家标准、计量和检测技术体系。研究制定高精确度和高稳定性的计量基标准和标准物质体系，以及重点领域的技术标准，完善检测实验室体系、认证认可体系及技术性贸易措施体系。

4. 建立科技基础条件平台的共享机制

建立有效的共享制度和机制是科技基础条件平台建设取得成效的关键和前提。根据“整合、共享、完善、提高”的原则，借鉴国外成功经验，制定各类科技资源的标准规范，建立促进科技资源共享的政策法规体系。针对不同类型科技条件资源的特点，采用灵活多样的共享模式，打破当前条块分割、相互封闭、重复分散的格局。

十、人才队伍建设

科技创新，人才为本。人才资源已成为最重要的战略资源。要实施人才强国战略，切实加强科技人才队伍建设，为实施本纲要提供人才保障。

1. 加快培养造就一批具有世界前沿水平的高级专家

要依托重大科研和建设项目、重点学科和科研基地以及国际学术交流与合作项目，加大学科带头人的培养力度，积极推进创新团队建设。注重发现和培养一批战略科学家、科技管理专家。对核心技术领域的高级专家要实行特殊政策。进一步破除科学研究中的论资排辈和急功近利现象，抓紧培养造就一批中青年高级

专家。改进和完善职称制度、院士制度、政府特殊津贴制度、博士后制度等高层次人才制度，进一步形成培养选拔高级专家的制度体系，使大批优秀拔尖人才得以脱颖而出。

2. 充分发挥教育在创新人才培养中的重要作用

加强科技创新与人才培养的有机结合，鼓励科研院所与高等院校合作培养研究型人才。支持研究生参与或承担科研项目，鼓励本科生投入科研工作，在创新实践中培养他们的探索兴趣和科学精神。高等院校要适应国家科技发展战略和市场对创新人才的需求，及时合理地设置一些交叉学科、新兴学科并调整专业结构。加强职业教育、继续教育与培训，培养适应经济社会发展需求的各类实用技术专业人才。要深化中小学教学内容和方法的改革，全面推进素质教育，提高科学文化素养。

3. 支持企业培养和吸引科技人才

国家鼓励企业聘用高层次科技人才和培养优秀科技人才，并给予政策支持。鼓励和引导科研院所和高等院校的科技人员进入市场创新创业。允许高等院校和科研院所的科技人员到企业兼职进行技术开发。引导高等院校毕业生到企业就业。鼓励企业与高等院校和科研院所共同培养技术人才。多方式、多渠道培养企业高层次工程技术人才。允许国有高新技术企业对技术骨干和管理骨干实施期权等激励政策，探索建立知识、技术、管理等要素参与分配的具体办法。支持企业吸引和招聘外籍科学家和工程师。

4. 加大吸引留学和海外高层次人才工作力度

制定和实施吸引优秀留学人才回国工作和为国服务计划，重点吸引高层次人才和紧缺人才。采取多种方式，建立符合留学人员特点的引才机制。加大对高层次留学人才回国的资助力度。大力加强留学人员创业基地建设。健全留学人才为国服务的政策措施。加大高层次创新人才公开招聘力度。实验室主任、重点科研机构学术带头人以及其他高级科研岗位，逐步实行海内外公开招聘。实行有吸引力的政策措施，吸引海外高层次优秀科技人才和团队来华工作。

5. 构建有利于创新人才成长的文化环境

倡导拼搏进取、自觉奉献的爱国精神，求真务实、勇于创新的科学精神，团结协作、淡泊名利的团队精神。提倡理性怀疑和批判，尊重个性，宽容失败，倡导学术自由和民主，鼓励敢于探索、勇于冒尖，大胆提出新的理论和学说。激发创新思维，活跃学术气氛，努力形成宽松和谐、健康向上的创新文化氛围。加强

科研职业道德建设，遏制科学技术研究中的浮躁风气和学术不良风气。

实施国家中长期科学和技术发展规划纲要，涉及面广、时间跨度大、要求很高，要加强组织领导和统筹协调，采取切实有效措施，确保各项任务的落实。一是加强本纲要与“十一五”国民经济和社会发展规划的衔接。为增强纲要的可操作性，当前要将纲要的有关内容按照轻重缓急，做好与“十一五”国民经济和社会发展规划紧密结合，包括优先主题、重大专项、前沿技术、基础研究、基础条件平台建设和科技体制改革等，从中遴选出需要立即起步或在“十一五”期间急需解决的重点任务，抓紧在“十一五”国民经济和社会发展规划中做出具体安排和部署。二是制定若干配套政策。纲要确定的发展目标、重点任务及政策措施，是带有方向性和指导性的，需要制定若干切实可行、操作性强的配套政策。包括：支持企业成为技术创新主体的政策，促进对引进技术消化、吸收和再创新的政策，激励自主创新的政府采购政策，加大科技投入、提高资金使用效益的政策，深化科技体制改革、推进国家创新体系建设的政策，加速高新技术产业化的政策，加强科技人才队伍建设的政策，促进军民结合、寓军于民的政策等。上述政策要责成有关部门牵头、相关部门参加，在充分调查研究的基础上，使科技政策与产业、金融、财税等经济政策相互协调、紧密结合，并抓紧出台实施。三是建立纲要实施的动态调整机制。鉴于世界科学技术发展迅猛，国内经济社会发展不断变化，要在经济社会分析、技术预测和定期评估的基础上，建立纲要实施的动态调整机制。纲要确定的发展目标和重点任务，要根据国内外科技发展的新趋势、新突破和我国经济社会发展的新需求，进行及时的、必要的调整，有的要充实加强，有的要适当调整。四是加强对纲要实施的组织领导。要在党中央、国务院的统一领导下，充分发挥各地方、各部门、各社会团体的积极性和主动性，大力协同，共同推动纲要的组织实施。特别是国家科技管理部门、发展改革部门、财政部门等综合管理部门要紧密配合，切实负起责任，加强具体指导。各省、自治区、直辖市要结合本地实际，贯彻落实纲要。

本纲要的实施，关系全面建设小康社会目标的实现，关系社会主义现代化建设的成功，关系中华民族的伟大复兴。让我们在以胡锦涛同志为总书记的党中央领导下，以邓小平理论和“三个代表”重要思想为指导，坚定信心，奋发图强，为建设创新型国家，实现我国科学和技术发展的宏伟蓝图而奋斗！

附录 L “机床与基础制造装备”国家科技重大专项概况

工信部国家科技重大专项——高档数控机床与基础制造装备网

2009-05-11

“十一五”期间重点实施的内容和目标分别是：重点研究 2～3 种大型、高精度数控母机；开发航空、航天、船舶、汽车、能源设备等行业需要的关键高精密数控机床与基础装备；突破一批数控机床基础技术和关键共性技术，建立数控装备研发平台和人才培养基地，促进中高档数控机床发展。

“高档数控机床与基础制造装备”国家科技重大专项主要瞄准的航空航天、船舶、汽车和发电设备四大行业呈现三大特点：一是行业发展迅速，汽车、船舶、发电设备产量上升很快，航空工业加工任务很重；二是行业发展前景好，企业普遍加大技改投入；三是需要大批高档数控机床进行装配。上述特点表明，当前是我国高档数控机床发展的难得机遇，数控机床重大专项的启动正当其时。

专项重点任务针对四大领域所需设备

根据调研四大领域用户的反映，重大专项实施方案提出的重点任务中，主机重点开发高速精密复合数控金切机床（18 种）、重型数控金切机床（7 种）、数控特种加工机床（4 种）、大型数控成形冲压设备（11 种），这些基本涵盖了四大用户未来 10～15 年发展对高档数控机床的品种需求，是四大领域急需的数控设备，这些产品属于难以从国外进口或者国外不向我国出口的产品。重点任务所列项目，能够基本满足四大领域发展需求，总体情况如下：专项重点任务所列重型数控金切机床 7 项，包括重型立卧车床、龙门镗铣床、落地镗床、轧辊磨床类，可以满足船舶、发电设备和大型飞机对超重型和重型零件的复杂、高效、复合加工的需求。专项重点任务所列数控机床车床类和加工中心类项目 7 项，包括高速精密车床、加工中心、复合机床类，能够满足航空航天、船舶、发电设备、汽车制造等行业对高速、精密、复合加工的需求。专项重点任务所列数控磨床类项目 9

项，包括各种数控磨床，可以满足航空、船舶、发电设备和汽车制造等行业对高速、精密、复合磨削加工需求。专项重点任务所列齿轮加工项目 2 项，其中大型滚齿机和磨齿机可以满足大型矿山设备、大型船用变速箱和风电设备等大型、精密齿轮加工要求。专项重点任务所列电加工机床项目 2 项，包括数控线切割和成形机床，能够满足航空、模具、家电等行业对特殊加工的需求。专项重点任务所列大型数控成形设备项目 11 项，能够满足汽车、船舶、发电、家电等行业对金属成型加工的需求。

参与机床重大专项调研的专家们认为，随着四大行业的发展，除专项所列重点任务项目外，还需要一大批不同种类、不同规格的数控机床和专用机床，如大飞机制造所需的各种数控专用设备、大型汽轮机和发电机转子加工所需的“数控叶根槽铣床”和“数控转子槽铣床”、风电设备加工所需的“数控成型铣齿机”和“数控成型磨齿机”、大型核电压力容器加工所需的“超重型深空钻床”、汽车发动机关键件连杆加工的涨断机床以及高效、自动化的柔性生产线等，建议专项的实施推行滚动计划，适时补充四大行业急需的数控重大装备项目。

专项目标：80% 立足国内

参与调研的四大服务领域的用户专家和重点机床企业制造专家普遍认为：目前，我国数控机床还处在大量进口阶段。2007 年，国产数控机床市场占有率 48%，特别是高档数控机床，国货所占百分比只有个位数。

该专项确立的目标是，到 2020 年航空航天、船舶、汽车和发电设备制造所需要的高档数控机床与基础制造装备 80% 以上立足国内。吴柏林认为，这个目标是高标准的，但通过各级政府政策支持和各方面的努力，应该能够实现。专项所确定的目标科学、任务明确，符合《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》的有关要求；专项重点任务项目所列技术指标体现了先进性和实用性的结合，技术参数总体达到了国际先进水平，部分指标国际领先。专项实施完成后，能够大大推动我国机床工业技术进步和产业升级。

专家着重指出：进口的高档机床，精度可以保持一二十年不变，可靠性好，很少出现问题。我国机床的技术指标如精度、速度等技术参数不是主要问题，与世界先进水平的根本差距在于机床的精度保持性和可靠性。我们可以研制出技术参数与国际水平一致的国产数控机床，但是表现机床内在水平的稳定性和可靠性方面决不是一朝一夕之功，提高机床精度稳定性和使用可靠性，需要在基础理论和共性技术、研发手段和制造技术装备等方面下功夫，才能取得成效。数控机床

稳定性和可靠性达到国际先进水平，这是机床产品质量和技术水平的最高境界，是我国追赶世界先进水平的最主要目标。据此，重大专项在确定重点任务项目时，不但要达到技术参数指标，同时要强调机床的内在质量即稳定性和可靠性，把加强机床稳定性和可靠性要求放在重要位置，是十分必要的。

需求导向主机牵引

吴柏林告诉中国工业报记者，重大专项的技术路线提出了“主机牵引，加强基础；跟踪跨越，集成创新；掌握核心技术，提升创新能力；鼓励使用，需求拉动”的实施原则。实施原则是数控机床发展的客观规律的集中体现，必须坚持。

参与调研的专家表示：需求导向，可以促进科研与需求的紧密结合，有的放矢，使得重大专项的开发项目落实到重点用户的需求上。主机牵引，能够推动科研攻关成果的集成创新，集成创新是现阶段机床行业自主创新的主要形式。“需求导向，主机牵引”，即高档数控机床新产品开发的立项要以市场用户的实际需求为依据，共性、关键技术攻关和功能部件的开发要以主机发展为牵引，以满足主机需求为根本目的。这是中国特色的数控机床科学发展道路的创新。

在专项实施中，鉴于高档数控机床的特点以及首台首套的应用推广难度。专项提出了组织实施高档数控机床“首台首套应用示范工程”的构思。

附录 M　国务院关于加快振兴装备制造业的若干意见

国发［2006］8 号

中华人民共和国国务院

二〇〇六年二月十三日

各省、自治区、直辖市人民政府，国务院各部委、各直属机构：

装备制造业是为国民经济发展和国防建设提供技术装备的基础性产业。大力振兴装备制造业，是党的十六大提出的一项重要任务，是树立和落实科学发展观，走新型工业化道路，实现国民经济可持续发展的战略举措。我国装备制造业经过 50 多年的发展，取得了令人瞩目的成就，形成了门类齐全、具有相当规模和一定水平的产业体系，成为我国经济发展的重要支柱产业。但我国装备制造业还存在自主创新能力弱、对外依存度高、产业结构不合理、国际竞争力不强等问题。为加快装备制造业的振兴，现提出以下意见：

一、明确目标原则，加快振兴步伐

（一）振兴目标

到 2010 年，发展一批有较强竞争力的大型装备制造企业集团，增强具有自主知识产权重大技术装备的制造能力，基本满足能源、交通、原材料等领域及国防建设的需要。依靠区域优势，发挥产业集聚效应，形成若干具有特色和知名品牌的装备制造集中地。建设和完善一批具有国际先进水平的国家级重大技术装备工程中心，初步建立以企业为主体的技术创新体系。逐渐形成重大技术装备、高新技术产业装备、基础装备、一般机械装备等专业化合理分工、相互促进、协调发展的产业格局。

（二）基本原则

1. 坚持市场竞争和政策引导相结合。进一步完善促进装备制造业振兴的政策

法规和标准体系，营造良好的市场环境，充分发挥市场在资源配置中的基础性作用，促进装备制造企业有序竞争；加强政府的组织领导和宏观调控，发挥行业指导作用，避免低水平重复建设，对关系国民经济和国防安全的重大技术装备制造和关键共性技术研发，给予必要的政策支持。

2. 坚持对外开放和自主创新相结合。鼓励企业着眼于前沿领域，积极扩大开放，在引进国外先进技术的基础上，实现消化吸收再创新；建立产、学、研、用相结合的技术创新体系，培养一批创新人才，不断增强自主创新能力，促进装备制造业持续发展。.

3. 坚持产业结构调整和深化企业改革相结合。按照走新型工业化道路的要求，结合“十一五”规划和振兴东北地区等老工业基地战略的实施，大力推进产业结构调整；创新管理体制和机制，加快建立现代企业制度，完善公司治理结构，增强企业活力和市场竞争能力。

4. 坚持重点发展和全面提升相结合。依托重点工程，研制一批对国民经济发展和产业升级影响大、关联度高的重点领域的重大技术装备，实现核心技术和系统集成能力的突破；以点带面，通过自主设计和自主制造，带动基础装备和一般机械装备产品及零部件生产制造水平的全面提升。

二、确定主要任务，实现重点突破

（三）选择一批对国家经济安全和国防建设有重要影响，对促进国民经济可持续发展有显著效果，对结构调整、产业升级有积极带动作用，能够尽快扩大自主装备市场占有率的重大技术装备和产品作为重点，加大政策支持和引导力度，实现关键领域的重大突破。

1. 发展大型清洁高效发电装备，包括百万千瓦级核电机组、超超临界火电机组、燃气－蒸汽联合循环机组、整体煤气化燃气—蒸汽联合循环机组、大型循环流化床锅炉、大型水电机组及抽水蓄能水电站机组、大型空冷电站机组及大功率风力发电机等新型能源装备，满足电力建设需要。

2. 开展 1 000 千伏特高压交流和 ±800 千伏直流输变电成套设备的研制，全面掌握 500 千伏交直流和 750 千伏交流输变电关键设备制造技术。

3. 以一批大型乙烯项目为国产化依托工程，通过引进关键技术消化吸收再创新和自主开发，实现百万吨级大型乙烯成套设备和对二甲苯（PX）、对苯二甲酸（PTA）、聚脂成套设备国产化。

4. 进行大型煤化工成套设备的研制开发，满足我国能源结构调整的需要。

5. 研制大型薄板冷热连轧成套设备及涂镀层加工成套设备，实现成套设备国产化，满足汽车工业和家电等行业发展需要。

6. 发展大型煤炭井下综合采掘、提升和洗选设备以及大型露天矿设备，实现大型综采、提升和洗选设备国产化。

7. 开发大型海洋石油工程装备、30 万吨矿石和原油运输船、海上浮动生产储油轮（FPSO）、10 000 箱以上集装箱船、LNG 运输船等大型高技术、高附加值船舶及大功率柴油机等配套装备。

8. 以铁路客运专线、城市轨道交通等项目为依托，通过引进消化吸收先进技术和自主创新相结合，掌握时速 200 公里以上高速列车、新型地铁车辆等装备核心技术，使我国轨道交通装备制造业在较短时间内达到世界先进水平。

9. 发展大气治理、城市及工业污水处理、固体废弃物处理等大型环保装备，以及海水淡化、报废汽车处理等资源综合利用设备，提高环保设备研发制造水平。

10. 满足铁路、水利工程、城市轨道交通等建设项目的需要，加快大断面岩石掘进机等大型施工机械的研制，尽快掌握关键设备制造技术。

11. 发展重大工程自动化控制系统和关键精密测试仪器，满足重点建设工程及其他重大（成套）技术装备高度自动化和智能化的需要。

12. 发展大型、精密、高速数控装备和数控系统及功能部件，改变大型、高精度数控机床大部分依赖进口的现状，满足机械、航空航天等工业发展的需要。

13. 发展新型纺织机械，重点对日产 200 吨以上涤纶短纤维成套设备、高速粘胶长丝连续纺丝机、高效现代化成套棉纺设备、机电一体化剑杆织机和喷气织机等新型成套关键设备技术攻关和产业化，促进纺织行业技术升级。

14. 发展新型、大马力农业装备，提高大马力拖拉机、半喂入水稻联合收割机、玉米联合收割机、采棉机等国产化水平和技术档次，改变目前 125 马力以上拖拉机、新型农业装备主要依赖进口的状况。

15. 发展集成电路关键设备、新型平板显示器件生产设备、电子元器件生产设备、无铅工艺的整机装联设备、数字化医疗影像设备、生物工程和医药生产专用设备等，促进装备制造业全面升级。

16. 发展民用飞机及发动机、机载设备。

三、制定振兴措施，明确工作方向

（四）以结构调整为主线，优化装备制造业产品和产业结构。重点发展具有自主知识产权的重大技术装备和重要基础装备，在立足自主研发的基础上，通过引进消化吸收，努力掌握核心技术和关键技术，实现再创新和自主制造；大力发展高新技术产业装备，通过与国外具有先进技术水平的企业合作，广泛开展联合设计、联合制造，逐步实现自主制造的目标；全面提升一般机械装备的制造水平，充分运用市场机制，进一步提高装备的产品质量和技术含量，降低生产成本，增加产品的附加值。积极发展高效、节能、低（零）污染的优势产品及清洁制造技术，逐步淘汰落后产品及制造技术。结合国民经济中长期发展规划，充分整合现有资源，发挥比较优势，合理规划确定我国装备制造产业布局，形成一批特色鲜明、重点突出的产业集群和装备制造集中地。

（五）以科技进步为支撑，大力提高装备制造企业自主创新能力。装备制造企业要以系统设计技术、控制技术与关键总成技术为重点，增加研发投入，加快提高企业的自主创新和研发能力。国家将重点支持自主创新项目，包括原始创新、集成创新和在引进消化吸收基础上再创新的项目。对关系国家全局和战略利益、企业难以独立完成的重大技术装备，有关部门要给予必要的支持，集中力量取得突破。鼓励企业通过自主开发、引进技术消化吸收以及国际合作、并购、参股国外先进的研发、制造企业等方式掌握核心技术。鼓励企业与科研院所、大专院校联合开展研发工作，并加快研究成果的产业化进程，创建一批享誉国内外的知名品牌。

（六）以重点工程为依托，推进重大技术装备自主制造。国家在核准或审批重点建设工程时，要有针对性地安排一批重大技术装备自主化依托工程，并要求项目业主和制造部门联合制定详细的装备自主制造实施方案，有关企业和单位要给予大力支持。工程项目重大技术装备需要引进技术的，承接技术转让的单位必须具有消化吸收、研发创新能力和实施产业化的基本条件。凡属于重点领域的工程项目所需装备，均应纳入统一组织的招标工作范围，国家有关部门对招标工作进行必要的组织、协调和指导。

（七）以市场为导向，发展壮大一批大型装备制造企业和工程公司。装备制造企业要加快建立现代企业制度，深化内部改革，转换经营机制。鼓励社会资金特别是大型国有和国有控股企业以并购、参股等多种方式参与国有装备制造企业的改革和不良资产的处置。对在重大技术装备制造领域具有关键作用的装备制造

骨干企业，要在保证国家控制能力和主导权的基础上，支持其进行跨行业、跨区域、跨所有制的重组。大型重点骨干装备制造企业控股权向外资转让时应征求国务院有关部门的意见。鼓励装备制造企业之间、关联企业之间、企业与科研院所之间的联合、重组，通过多种途径培育大型企业集团。发挥市场导向和政策支持的作用，形成一批跨行业、跨地区的集系统设计、系统集成、工程总承包和全程服务为一体的工程公司，参与国家重点工程项目的建设和管理，并积极开拓国外市场。

（八）以装备制造业振兴为契机，带动相关产业协调发展。鼓励重大装备制造企业集团在集中力量加强关键技术开发和系统集成的同时，通过市场化的外包分工和社会化协作，带动配套及零部件生产的中小企业向“专、精、特”方向发展，形成若干各有特色、重点突出的产业链。有计划、有重点地研究开发重大技术装备所需的关键共性制造技术、关键原材料及零部件，逐步提高装备的自主制造比例。加强电子信息技术与装备制造技术的相互融合，以信息技术促进装备制造业的升级。

（九）以专业人才培养为重点，加强技术创新队伍建设。各级、各类教育机构要高度重视基础教育和人才培养，支持国家重大技术装备人才培养基地的建设。具备条件的高等院校要整合相关力量，加强技术创新人才培养；高等院校要与企业、科研院所加强合作，联合培育一批年富力强、具有创造性的中青年科技人才、管理人才和高级技工，特别要培养重大装备研制和系统设计的带头人才。采取持股、技术入股、提高薪酬等更加灵活的政策措施，吸引国内外高水平专业技术人才，为装备制造业长远发展造就雄厚的后备力量。对重大技术装备研制、开发、使用和推广做出突出贡献的人员，各级政府和有关部门要给予表彰和奖励。

四、完善法律法规，强化政策支持

（十）完善相关法律法规和标准。要在全面总结我国装备制造业发展的成功经验，借鉴国外通行做法的基础上，研究制定振兴装备制造业的有关法律法规，为装备制造业发展提供必要的法律保障。要充分发挥标准化在振兴装备制造业中的作用，提高国家标准、行业标准和企业标准的等级，完善我国装备制造业标准体系，为我国装备产品参与国际竞争创造条件。

（十一）制定重点领域装备技术政策。根据国民经济重点领域中长期发展的

需要，制定科学合理、先进适用和相对稳定的装备技术政策，为装备制造业制定中长期技术引进和自主创新发展规划奠定基础。装备技术政策由发展改革委组织使用和制造部门及研究设计专家编制，经咨询论证并按程序审定后，作为国家审批和核准重点建设工程项目的依据。要抓紧制定电力工业大容量、高参数的发电和输变电，石油化工工业（含海洋石油工程）的炼油和化纤原料生产，煤炭工业的采掘，冶金工业的冶炼和轧制，建材工业的新型（环保）建筑材料生产，汽车工业的汽车产品关键总成生产，轨道交通运输业的新型轨道交通运输，远洋运输，民用航空航天工程，信息产业通讯工程，生物工程和医疗医药等领域的装备技术政策。

（十二）调整进口税收优惠政策。对列入国家发展重点的重大技术装备和产品，条件成熟时，由财政部会同发展改革委等部门制定专项进口税收政策，对国内生产企业为开发、制造这些装备而进口的部分关键配套部件和原材料，免征进口关税或实行先征后返，进口环节增值税实行先征后返。同时，取消相应整机和成套设备的进口免税政策。对国产装备不能完全满足需求，仍需进口的，作为过渡措施，经财政部会同发展改革委等有关部门严格审核，以逐步降低优惠幅度、缩小免税范围的方式，在一定期限内继续给予进口优惠政策。

（十三）鼓励订购和使用国产首台（套）重大技术装备。对订购和使用首台（套）国产重大技术装备的国家重点工程，可确定为技术进步示范工程，优先予以安排。尽快研究建立由项目业主、装备制造和保险公司风险共担、利益共享的重大技术装备保险机制，引导装备制造企业和项目业主对首台（套）国产重大技术装备投保。

（十四）加大对重大技术装备企业的资金支持力度。国家在年度投资安排中设立专项资金，对国家重点建设工程所需以及对结构调整和产业升级有重大影响的重大技术装备的技术进步项目，给予重点支持。鼓励符合条件的装备制造企业通过上市融资、发行企业债券等方式筹集资金。加大企业研发投入税前扣除等激励政策的力度，鼓励企业增加研发投入。完善重大装备技术研发资金管理，重点支持系统成套技术、自动化控制技术以及关键共性制造技术、基础性技术和原创性技术的研究开发。

（十五）支持企业分离办社会职能。重大技术装备企业要积极组织加快实施分离企业办社会职能，各级人民政府要给予大力帮助，安排一定的资金给予支持，国有资产监督管理等有关部门要积极推进主辅分离，努力减轻企业负担。

（十六）加强设备进口管理。重大成套装备及其技术的引进工作要有制造、研发和使用单位联合参与，对使用带有附加条件的境外资金直接进口国家重点发展的重大技术装备和重点产品要严格审查、论证。新建和改造工程项目不得进口高能耗、高污染、落后的设备。对承担国家重点工程项目的企业，为实现装备国产化需要进口相关设备和产品时，经认定并经海关审核，可以比照高新技术企业给予便捷通关的优惠。

五、加强领导协调，发挥协会作用

（十七）加强对振兴装备制造业的组织领导。在国务院统一领导下，由发展改革委负责振兴装备制造业的组织领导和协调工作，其职能主要是：组织编制国家重大技术装备规划，协调重大相关政策，推进重大技术装备国产化的落实，完成国务院交办的其他任务。

（十八）及时协调解决装备制造业发展中出现的问题。各地区要结合实际，建立促进装备制造业振兴的工作制度和机制，为促进装备制造业发展创造良好条件。装备制造行业主管部门和有关单位要在全面深入调查研究的基础上，制定装备制造业发展的中长期规划，加强宏观调控和政策引导，积极研究制定促进装备制造业振兴的政策措施，及时协调解决出现的问题。各有关部门要按照职责分工，对本意见明确的各项工作任务，抓紧制定具体的配套政策措施。

（十九）发挥行业协会的作用。各行业协会要充分发挥政府和企业之间的桥梁作用，建立市场供求、生产能力、技术经济指标等方面的信息定期发布制度和行业预警制度，向政府行政主管部门及时反映行业动向，提出政策建议，帮助企业协调解决有关问题，引导企业健康发展。同时，行业协会要加强自身建设，完善行业自律机制，努力成为独立、公正、自主运作的行业组织。

（二十）国防科技装备制造业，比照本意见执行。

参 考 文 献

[1] 罗振璧，朱耀祥，张书桥．现代制造系统 [M]．北京：机械工业出版社，2004．

[2] 盛伯浩．数控机床技术进展及智能化发展探讨 [J]．金属加工，2013（10）：18-20．

[3] 汪星桥，盛伯浩，遇立基．机床设计手册（第三册）[M]．北京：机械工业出版社，1986．

[4] 中国机械工业年鉴编辑委员会，中国机床工具工业协会．中国机床工具工业年鉴 2011 [M]．北京：机械工业出版社，2011．

[5] 中国机械工业年鉴编辑委员会，中国机床工具工业协会．中国机床工具工业年鉴 2012 [M]．北京：机械工业出版社，2013．

[6] 陈惠仁．关于推动我国机床工具产业由大变强的几点思考 [N]．中国机床工具报，2011 年 21 期特刊，2011-11-5（1）．

[7] 丁卓．我国数控机床行业关键成功因素分析 [D]．北京：清华大学管理学院，2009．

[8] 刘强，李冬茹．国产数控机床及其关键技术发展现状及展望 [J]．航空制造技术，2010（10）26-30．

[9] 盛伯浩．数控机床发展趋势及对策 [J]．世界制造技术与装备市场，2004（6）．

[10] 李焱，高柏宏，徐吉存．打破我国数控机床产业发展桎梏 [J]．中国制造业信息化，2011（14）:49-52．

[11] 冯丽萍．数控机床的发展与应用 [J]．中国科技财富，2010（8）:110．

[12] 吴波，周云龙．数控机床现状及发展趋势简析 [J]．科技信息，2010（25）:461,479．

[13] 鲁方霞，邓朝晖．数控机床的发展趋势及国内发展现状 [J]．工具技术，2006，40（13）:44-48．

[14] 梁铖，刘建群．五轴联动数控机床技术现状与发展趋势 [J]．机械制造，2010,48（1）:5-7．

[15] 梁伟，王先．数控机床发展趋势 [J]．桂林航天工业高等专科学校学报，2010,58 (2) :163-166.

[16] 王德生．世界数控机床产业发展的新技术和新理念 [J]．机电一体化，2010,16 (10) :4-7.

[17] 盛伯浩．我国数控机床现况与技术发展策略 [J]．制造技术与机床，2006 (2).

[18] 韦东远．我国数控机床的出路 [J]．创新科技，2008 (7) :54-55.

[19] 林宝，单国栋．我国数控机床市场发展现状和趋势 [J]．东方企业文化，2010 (9) :121.

[20] 李焱，高柏宏，徐吉存．数控机床产业发展现状及沈阳机床自主创新之路 [J]．航空制造技术，2010 (12) :32-35.

[21] 王立平．关于国产数控机床发展的几点思考 [J]．航空制造技术，2010 (4) :51-52.

[22] 焦炬．浅析数控机床发展现状 [J]．机电产品开发与创新，2011,24 (3) :16-18.

[23] 张玲．中日机床产业发展历程比较 [J]．沈阳工程学院学报，2010 (7).

[24] 数字 [J]．现代金属加工，2006 (11).

[25] 王海霞．企业先进技术来源重在消化吸收 [N]．科学时报，2007-6-6.

[26] 郑国伟．机床工具进出口情况与需要关注的问题 [J]．制造技术与机床，2011 年 (7).

[27] 郑国伟．机床工具行业进出口形势与 2012 年展望 (下) [J]．金属加工，2012 (3).

[28] 郑国伟．工程机械进出口形势及其相关政策走向 [J]．工程机械与维修，2010 (2).

[29] 北京市软科学研究编写组．北京市软科学研究 [M]．北京：北京出版社，2012:123-139.

[30] 中国机床工具工业协会信息传媒部．2012 年行业核心任务是提高中高档数控机床市场竞争力 [N]．中国机床工具报，2012-4-2.

[31] 罗兵．专家呼吁通过提升高端产品产能增强我国机床产业竞争力 [N]．中国质量报，2012-3-29 (5).

[32] 谢静波．推进产学研合作创新机制研究 [J]．人民论坛，2009 (17).

[33] 马德秀．瞄准需求 突破障碍 大力推进产学研用结合 [J]．中国高等教育，2010 (12).

[34] 黄祖广，赵钦志．加工中心可靠性试验载荷谱的研究 [J]．制造技术与机床，2008 (3).

[35] 盛伯浩．提升国产数控机床竞争力 尽快缩短与国际水平差距 [J]．中国机械与金属，2009（3）．

[36] 康晓洁，夏萍．磨床制造企业应多管齐下，加快实现替代进口的步伐 [J]．精密制造与自动化，2013（1）．

[37] 夏希品．综合服务能力差 国产机床提升市场竞争力遏阻 [N]．机电商报，2011-12-26．

[38] 中国机床工具工业协会．机床工具行业“十二五”期间工作要点（试行）[OL]．中国机床工具工业协会网站，2011-10-27．

[39]《国情备忘录》第八集：创新元素．中央电视台财经频道，2009-12-29．

[40] 盛伯浩，罗振璧，赵宏林，等．快速重组制造系统（RRMS）——新一代制造系统的原理及应用 [J]．制造技术与机床，2001（8）：37-44．

[41] 盛伯浩，罗振璧，俞圣梅，等．快速重组制造系统的动态建模和结构体系 [J]．中国机械工程 [J]，1999，10（9）:103-108．

[42] 梁训瑄．世界制造技术与装备领域三十年来的四大质变 [J]．机械与液压，2009,37（6）:1-3．

[43] 赵宏林，丁庆新，曾鸣，等．机床结合部特性的理论解析及应用 [J]．机械工程学报，2008（12）:304-310．

[44] 赵宏林，吴智恒，贺艳芩，等．结合部特性参数及其在机床结构建模中的融合技术 [J]．制造技术与机床，2007（5）:51-54．

[45] 盛伯浩．基于智能化的集约制造技术．工程前沿第 1 卷 未来制造科学与技术，柳百成主编 [M]．北京：高等教育出版社，2004:183-192．

[46] 以点带面寻求突破“汽车产业发展论坛”企业一席谈 [J]．世界制造技术与装备市场，2011（5）．

[47] 杨红英．汽车零部件制造推动机床技术革新 [N]．中国工业报，2009-11-23．

[48] 侯益青．“十一五”期间中国汽车工业对机床设备需求分析 [J]．汽车与配件，2009（10）．

[49] 本刊采编组．汽车零部件企业呼唤“高效的加工解决方案”[J]．中国机械与金属，2011（6/7）．

[50] 德马吉超大型龙门 5 轴加工中心——DMU 600 P[J]．模具制造，2010（7）．

[51] Mikron 加工技术公司．满足精密加工的苛刻要求 [J]．机电产品市场，2007（8）．

[52] 宋齐婴．飞机制造业对机床等设备的需求 [J]．中国制造业信息化，2009（6）．

[53] 罗兵．服务航空航天工业发展 机床工具行业亟待升级 [N]．中国质量报，2012-7-12．

[54] 于思远．重点用户基础装备需求分析 [J]．世界制造技术与装备市场，2008（2）．

[55] 马艳玲．航空发动机零件高效加工对机床工具的要求 [J]．金属加工，2011（3）．

[56] 王永利，兰力．ZAYER 五轴联动数控机床在航空航天领域的设计和应用 [J]．航空制造技术，2012（5）．

[57] 谭光恒．并联机床 航空航天工业自动化的金钥匙 [J]．中国机械与金属，2008（3）．

[58] 张曙．加工飞机结构件的加工中心 [J]．航空制造技术，2005（4）．

[59] 张曙．航空结构件加工的新一代数控机床 [J]．金属加工（冷加工），2012（3）．

[60] 赵明，王兴林，金耀兴．复合加工技术在航空复杂零件加工中的应用 [J]．航空制造技术，2011（19）．

[61] 王婷如．高铁：3.5 万亿投资为机床业带来巨大商机 [N]．中国工业报，2010-10-11．

[62] 本刊采编组．瞄准轨道交通市场“大蛋糕”[J]．中国机械与金属，2011（6/7）．

[63] 符祚钢．船舶工业现代化 机床工业迎来新挑战和新机遇 [OL]．中国机床工具工业协会网站，2008-12-15．

[64] 杨红英．重型机床需求趋缓 [N]．中国工业报，2010-2-22．

[65] 张学桐．大进给铣刀密切加工船用螺旋桨的原理与方法 [D]．大连：大连理工大学，2012．

[66] 王知行，陈辉．并联机床加工船用螺旋桨及 CAM 技术研究 [J]．机械设计与研究，2003-19（6）．

[67] 符祚钢．解决船用配套难题需国产高精设备作保障 [N]．中国工业报，2009-1-12．

[68] 李锋年．数控重型曲轴铣车复合加工机床研制成功 [J]．机械制造，2013，51（584）．

[69] 李瞧．发电设备行业对国产机床有七大期望 [N]．中国工业报，2011-4-11．

[70] 胡启林．重大专项重点用户：需要大批高精尖产品 [N]．中国工业报，2008-5-5．

[71] 杨林建．核电汽轮机低压动叶片集成加工技术研究 [J]．机床与液压，2011，39（11）．

[72] 陈光明．基于并联机床的汽轮机叶片数控加工技术研究 [J]．机床与液压，2010，38（11）．

[73] 工业和信息化部。电子信息制造业“十二五”发展规划．http://www.gov.cn/

gzdt/2012-2/24/content-20758.

[74] 电子信息产业发展对数控机床的要求 [J]. 工具技术，2005（1）.

[75] 王英章. 高精高速微孔 PCB 数控钻床关键技术的研究与应用 [D]. 重庆：重庆大学，2004.

[76] 郭钊. 基于 PC 的 PCB 钻孔机数控系统的研究与开发 [D]. 南京：南京航空航天大学，2012.

[77] 朱加坤. PCB 数控钻床高速高精度平台的设计与研究 [D]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学，2009.

[78] 王冰，王成勇，汤宏群，等. 印刷电路板高速数控钻床的特点及关键技术 [J]. 工具技术，2009,43（12）:3-10

[79] 谭汝谋，李开佛，陈问源. 论机床工业在国民经济中的地位和作用 [J]. 经济工作通讯，1991（7）.

[80] 钟洪. 数控雕铣机——电主轴行业的新机遇 [J]. 世界制造技术与装备市场，2012（1）.

[81] 黄韶娟，盛伯浩等. 高效、高精立式加工中心 [J]. 制造技术与机床，2004（9）.

[82] 推动中国制造向高端迈进——“高档数控机床与基础制造装备”重大专项研制纪实 [N]. 经济日报，2011-3-25.

[83] 中国机床工具工业协会信息传媒部. 转变发展方向 装备未来中国 [N]. 中国机床工具报（专刊）2011-10.

[84] 刘士玉. 摆脱以规模扩张为主的发展模式，重点发展中高端数控机床 [N]. 中国机床工具报，2012-1-5.

[85] 陈清泰. 产业结构升级的政策思路 [N]. 中国机床工具报，2011-12-5.

[86] 谢作诗. 中国不应惧怕降低关税 [N]. 环球时报，2012-4-17.

[87] 张国宝. 实现装备制造业的振兴和发展 [N]. 中国工业报，2006-6-26.

[88] 赵钦志. 我国机床产品安全质量状况分析 [J]. 世界制造技术与装备市场，2008（5）.

[89] 盛伯浩. 数控机床智能化发展路线图 [J]. 金属加工，2013（12）：18-20.

[90] 梁训瑄. 我国机床工业由“大”做“强”，企业要走“专、特、精”发展道路 [J]. 制造技术与机床，2012（8）:15-18, 53.

[91] 吴艳玲. 中国冲压装备国际竞争力实现重大突破 [P]. 中国机床工具报，2012-1-5.

[92] 李培森．数控机床要先行“十一五”规划力挺国产 [N]．中国工业报，2006-8-3．

[93] 黄建文．小巨人机床在汽车模具行业中的应用 [OL]．弗戈工业在线，http://www.vogel.com.cn/tech/chuangxinjiagong/news_t_view.html?id=196980．

[94] 李开佛．2011 年中国机床市场持续“给力”[J]．中国机械与金属，2011（2）．

[95] 新机遇加速机床行业发展 [J]．现代制造，2009（41）．

《中国战略性新兴产业研究与发展》一期书目

《中国战略性新兴产业研究与发展·风能》

《中国战略性新兴产业研究与发展·生物质能》

《中国战略性新兴产业研究与发展·太阳能》

《中国战略性新兴产业研究与发展·新能源汽车》

《中国战略性新兴产业研究与发展·工程机械》

《中国战略性新兴产业研究与发展·农业机械》

《中国战略性新兴产业研究与发展·数控机床》

《中国战略性新兴产业研究与发展·轨道交通》

《中国战略性新兴产业研究与发展·轴承》

《中国战略性新兴产业研究与发展·齿轮》

《中国战略性新兴产业研究与发展·智能电网》

《中国战略性新兴产业研究与发展·水电设备》

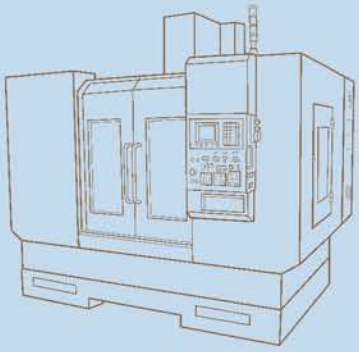
总 策 划　王文斌

封面设计　敬人书籍设计工作室
吕敬人＋德浩

易览网
mepfair.com
中国机电产品网上展览馆

中国战略性新兴产业研究与发展

数控机床



地址：北京百万庄大街22号 邮编：100037
电话 社服务中心：(010) 88361066 销售一部：(010) 68326294 销售二部：(010) 88379649 读者热线：(010) 68326643
网络 易览网：http://www.mepfair.com 机工官网：http://www.cmpbook.com 机工官博：http://weibo.com/cmp1952

ISBN 978-7-111-43210-4

ISBN 978-7-111-43210-4
定 价：178.00元